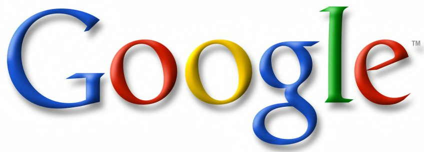
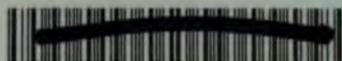





1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

ANNALES
DES MINES.

Les Annales des Mines sont publiées sous les auspices de l'administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission, dont font partie le directeur des mines et de l'exploitation des chemins de fer et le directeur du cabinet et du personnel, est composée ainsi qu'il suit :

MM.

Du Souich, inspecteur général des mines, *président*.

Daubrée, inspecteur général, directeur de l'École des mines.

Guillebot de Nerville, inspecteur général.

Jacquot, d°

Cacarrié, d°

Meissonnier, d°

Descottes, d°

Dupont, inspecteur général, inspecteur de l'École des mines.

Tournaire, inspecteur général.

Delesse, d°

De Chancourtois, d°

Gentil, d°

Bayle, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

MM.

Lan, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

Haton de la Goupillière, d°

Mallard, d°

Lorieux, ingénieur en chef, secrétaire du conseil général des mines.

Résal, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

Keller, ingénieur en chef, chargé du service de la statistique de l'industrie minérale à la direction des mines.

Fuchs, ingénieur, professeur à l'École des mines.

Vicaire, d°

Carnot, d°

Zeiller, ingénieur, *secrétaire de la commission.*

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés, soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit, à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics*, à M. l'Ingénieur secrétaire de la commission des Annales des Mines.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des Annales des Mines a lieu par livraisons, qui paraissent tous les deux mois.

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 90 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE, RUE RACINE, 26.

23

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XIX.

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DE L'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, n° 49

1881



ANNALES

DES MINES.

NOTE

SUR

LE RÉGIME DE LA SOURCE DE CAMOINS-LES-BAINS

(COMMUNE DE MARSEILLE)

Par M. VILLOT, ingénieur en chef des mines.

En outre des travaux qui ont été faits sous la direction de M. l'ingénieur Oppermann au laboratoire des mines de Marseille, il a été entrepris des recherches pour se rendre compte de l'influence de diverses causes de perturbation sur le débit et la composition des eaux de la source sulfureuse des Camoins, sise dans le territoire de la commune de Marseille et déclarée d'intérêt public par décret en date du 17 novembre 1862.

La source est située à 120 mètres de distance horizontale et à 16^{m} environ en contre-bas du plafond d'une branche du canal de Marseille. Dans cette partie de son parcours cette branche est établie sur les calcaires blancs gypsifères et parfois sulfurifères qui, dans tout le territoire de Marseille, reposent directement sur les calcaires secondaires, et qui paraissent, dans l'ensemble, contemporains de la formation lacustre beaucoup plus développée de Manos-

que, dans laquelle on exploite également du gypse, et même du soufre (environs d'Apt).

A plusieurs reprises, des effrondrements dans la cuvette du canal de Marseille, dans la partie directement en amont de la source, ont amené des perturbations considérables dans le régime de celle-ci; ces pertubations ont donné lieu à des actions judiciaires et ont frappé d'un discrédit marqué dans l'opinion publique les eaux des Camoins.

On a été conduit à se demander si, en dehors des perturbations manifestes qui avaient bouleversé totalement, quoique momentanément, le régime apparent, les infiltrations insensibles que pouvait donner le voisinage en amont de la cuvette n'altéraient pas la source d'une manière permanente. La question se compliquait de l'action que pouvaient avoir les arrosages d'été, les terrains avoisinants étant tous en prairies.

Si l'on avait connu l'analyse exacte des eaux avant l'établissement du canal, on aurait eu un point de repère précieux, mais l'on n'avait sur ce sujet rien de sérieux. On a pensé alors à instituer une série d'essais ayant pour objet de déterminer à des intervalles rapprochés (d'habitude une semaine) différents éléments contenus dans les eaux de la source en même temps que son débit, et cela pendant une année entière.

Les eaux étant retirées du canal deux fois par an et chaque fois pendant une période de quinze jours, et les fissures étant cimentées avec soin pendant chaque chômage, on pouvait admettre que, immédiatement après la remise en eau du canal et dans une période de temps plus ou moins prolongée après cette remise, les infiltrations étaient nulles. On rétablissait donc, dans une certaine mesure au moins, la situation antérieure au canal. Si peu à peu, en s'ouvrant, les fissures de la cuvette donnaient passage à des eaux d'infiltration, on devait voir pendant les six mois qui séparent deux chômages consécutifs la composition de

la source changer progressivement, puis redevenir plus ou moins identique à ce qu'elle se trouvait dans la période précédente, après la remise en état du canal.

Les eaux des Camoins sont des eaux sulfureuses froides provenant, selon toute vraisemblance, de la décomposition du gypse par des matières organiques dont les eaux superficielles se chargent en circulant sur le sol, ou dans le sous-sol où elles pénètrent par les affleurements ou autrement. Elles contiennent donc de l'hydrogène sulfuré libre ou à l'état de sulfure et du sulfate de chaux en dissolution. Elles renferment aussi des carbonates de chaux et de magnésie et de faibles quantités de chlorure et de matières organiques.

Le trajet souterrain des eaux ne paraît pas être simplement un écoulement sur les couches gypseuses et suivant leur ligne de plus grande pente. L'impossibilité de faire coïncider dans un seul et même plan les affleurements de gypse qu'on rencontre aux alentours, l'existence d'une cassure visible dans une carrière abandonnée, et, plus que cela, le fait qu'un effondrement du canal a fait en 1870, au mois de juin, disparaître à tout jamais une source dite *Source Michel* analogue comme composition à celle des Camoins, et située en amont du canal et à 100 mètres environ de distance de ce dernier, et en a fait naître une autre dans un point distant de 550 mètres de la source tarie, montrent que le gisement de la source est formé par une ou plusieurs crevasses qui règnent dans la formation gypseuse. Il n'entre pas dans le plan de cette note de donner à cet égard plus de détails et nous accepterons la chose comme établie.

Les essais ont porté sur les quantités d'hydrogène sulfuré, d'acide sulfurique à l'état de sulfate et de sels fixes contenues dans un litre d'eau ; on a toujours pris la température ambiante, celle de l'eau minérale et le débit de la source.

Après divers tâtonnements pour doser l'hydrogène sulfuré, parmi lesquels le procédé sulfhydrométrique ne nous a pas donné de résultats bien satisfaisants, on s'est arrêté à celui-ci : recevoir sur les lieux l'eau, dans une fiole, dans laquelle on avait préalablement introduit quelques gouttes de nitrate d'argent, et au laboratoire traiter le précipité par l'ammoniaque qui dissout tous les sels d'argent, sauf le sulfure et l'iodure. On savait que l'iodure était en quantité nulle ou absolument insignifiante. Le sulfure d'argent était ensuite calciné modérément avec de la fleur de soufre à l'abri du contact de l'air.

L'acide sulfurique et les sels fixes ont été dosés sur un demi-litre environ, le premier par le chlorure de baryum, et les seconds par dessiccation et calcination dans une capsule de platine. Leurs proportions dans l'eau paraissent, du reste, *à priori*, ne devoir offrir qu'un intérêt secondaire.

On a fait, du 29 octobre 1878 au 25 novembre 1879, plus de 70 prises d'essais ; on a déterminé parfois d'autres éléments que ceux dont il vient d'être parlé ; on a de plus déterminé à chaque fois les débits de la source, tant au griffon qui sert de buvette, qu'à la surverse par laquelle une certaine quantité de l'eau qui n'est pas utilisée s'échappe dans une prairie en aval, après un assez long parcours à ciel ouvert. Il va sans dire que, pendant la saison d'activité de l'établissement, on prenait toutes les précautions pour être sûr qu'on n'était pas mis en erreur par le service des bains.

Les résultats obtenus sont très nets et se déduisent tous du tableau ci-contre, dans lequel on a condensé et réduit en moyennes les chiffres fournis par les nombreuses analyses dont il a été parlé plus haut.

Tableau résumé des essais faits sur la source des Camoins, de novembre 1878 à décembre 1879. — Température de l'eau : a varié de 15 à 16°.

ÉPOQUES considérées et nombre d'essais d'après lesquels on a formé les moyennes.	TEMPÉRATURE extérieure moyenne.	DÉBIT moyen (Buvette et surverse) en 1 minute.	S en milligrammes		SO^3 en grammes.	RÉSIDU fixe en grammes.	PLUIE aux Camoins en millimètres.	OBSERVATIONS.
			à la buvette.	à la surverse.				
Novembre 1878, 4 expériences.	10°	49 + 18 (?) soit 67 (?)	3,5	non dosé.	0,436	2,232	137	(1)
Décembre 1878, 4 expériences.	6°	69	4	id.	0,446	2,253	104	
Janvier 1879, 5 expériences.	11°	65	3,9	id.	0,457	2,238	74	
Février 1879, 4 expériences.	11°	58	4,2	id.	0,462	2,272	61	
Mars 1879 (avant le chômage) 3 expériences.	14°	56	2,7	id.	0,464	2,253	0	
(pendant le chômage) 7 expériences.	16°	44	3,5	id.	0,455	2,248	73	(2)
Avril 1879, 5 expériences.	15°	63	3,4	id.	0,462	2,287	139	
Mai 1879, 4 expériences.	14° 1/2	101	3,0	0,30	0,472	2,286	123	(3)
Juin 1879, 4 expériences.	23°	184	2,2	0,24	0,447	2,259	9	
Juillet 1879, 4 expériences.	22°	250	2,1	0,30	0,429	2,284	16	
Août 1879, 4 expériences.	27°	266	1,5	0,36	0,420	2,243	0	
Septembre 1879, 3 expériences.	23°	315	1,1	traces.	0,408	2,226	239	
Octobre 1879, (avant le chômage) 2 expériences.	19°	136	1,7	0,20	0,432	2,248	0	(4)
(pendant le chômage) 3 expériences.	16°	90	2,9	traces.	0,455	2,248	22	(5)
4 novembre 1879.	13° 1/2	94	3,4	traces.	0,435	2,185	0	(6)
6 —	4°	73	3,0	id.	0,441	2,246		
10 —	9°	63	2,9	id.	0,412	2,400		
17 —	5°	51	3,1	id.	0,410	2,415		
25 novembre 1879.	11°	81	3,1	id.	0,454	2,320	6 (du 17 au 25)	(7)
Moyenne de novembre (du 4 au 17).	8°	71	3,1	id.	0,424	2,314	0	

(1) Le chômage d'automne du canal a commencé le 19 octobre. — Il s'est terminé le 4 novembre.
(2) Le chômage de printemps du canal a commencé le 16 mars. — Il s'est terminé le 31.
(3) Les arrosages ont commencé le 20 mai.
(4) Les arrosages ne se font plus que pendant la journée à partir de cinq heures du matin.
(5) Le chômage commence le 19 octobre.
(6) L'eau est remise au canal le 2 au matin.
(7) On arrose la prairie depuis la veille au matin.

Quelques mots d'abord sur le tableau ci-dessus.

La colonne des températures ambiantes ne donnerait pas, comparée aux températures moyennes véritables du lieu, identité de chiffres; elle donne la moyenne des températures extérieures prises à côté de la source au moment des essais.

Le débit moyen de novembre 1878 donne lieu à l'observation suivante : quand les expériences ont été commencées, la surverse ne pouvait être jaugée; on a ajouté au débit de la buvette, 49 litres, la moyenne du débit de la surverse observée en décembre, qui se trouve de 18 litres, c'est ce qui motive le point d'interrogation à côté des chiffres 18 et 67, qui sont certainement très près de la vérité, mais qui n'ont point cependant été déterminés directement.

La considération des pluies avait pour but de voir si celles-ci avaient une influence sur le débit et la composition de la source. Comme il n'y a pas d'udomètre à la source mais qu'il en existe à Marseille et à Aubagne, on a pris pour Camoins, qui est à mi-distance entre ces deux villes, la moyenne des quantités accusées par les deux localités.

Semestre d'hiver. — La période de novembre à avril inclus ne comportant aucun arrosage était propre à faire ressortir, si elle existait, l'influence du canal seul; considérons donc d'abord cette première période et voyons comment se comporte le débit.

Débit. — Pendant les trois mois de novembre, décembre et janvier on constate que le débit reste à peu près constant. Il faiblit légèrement en février et en mars jusqu'à l'époque du chômage. Pendant ce dernier mois, il tombe à 44 litres pour remonter en avril tout de suite au taux précédent. On est immédiatement disposé à voir la raison de cette diminution sensible du débit pendant la période du chômage dans ce

fait que, l'eau étant enlevée, les filtrations ont dû cesser ; et l'on est confirmé dans cette pensée en examinant le détail des jaugeages jour par jour, et surtout au moment où l'eau est remise au canal. C'est ainsi que, l'eau ayant été enlevée le 16 mars et remise le 31 du même mois, on a eu les débits suivants depuis le 18 mars jusqu'au 5 avril inclus :

	litres.		litres.	
18 mars. . . .	48	27 mars. .	44	
20 —	47	29 — . .	40	
23 —	46	31 — . .	38	(Fin du chômage.)
25 —	45	3 avril. .	54	

On suit pour ainsi dire jour par jour l'action du sous-sol qui se ressuie jusqu'au moment où, l'eau étant remise, la source croît en 3 jours de 16 litres sur 38, c'est-à-dire 42 p. 100, comparé au dernier jour de chômage. Ajoutons que le chiffre de 54 est suivi, aux jaugeages subséquents du mois, des débits de 59-62-61-77 qui montrent que le chiffre 54 n'est pas fortuit, mais bien le commencement d'une situation différente.

Il faut cependant aller au devant d'une objection à cette manière de voir, qu'on pourrait tirer de la considération attentive des débits. On remarque en effet qu'à partir de décembre, les débits commencent à diminuer, et l'on pourrait se demander si le chiffre de 44 qu'on constate dans la deuxième quinzaine de mars n'est pas simplement la continuation du même phénomène de diminution qui se produisait déjà en février, phénomène dont il y aurait à rechercher la cause véritable, mais qui, dans tous les cas, pourrait être indépendant du chômage du canal.

A cela il faut, semble-t-il, répondre : quelle que soit la cause de la diminution constatée avant le chômage et à partir de décembre, diminution qui fait passer de 69 à 65, puis à 58, puis à 56, le débit par minute, cela n'enlève aucune force à l'argument de l'élévation brusque du débit

à la remise de l'eau qui fait passer du chiffre moyen 44 au chiffre moyen 63, et plus exactement, en 3 jours (voyez plus haut) du chiffre 38 au chiffre 54. La concomitance de ces deux faits, remise de l'eau et augmentation brusque du débit, conduit nécessairement à affirmer que l'un a été la conséquence de l'autre.

Quant à la diminution lente constatée à partir de décembre, on peut s'en rendre très simplement compte en remarquant que les eaux du canal sont celles de la Durance; que celles-ci s'étant débarrassées de la majeure partie des matières terreuses charriées, ne contiennent plus en suspension que des parties argileuses très légères rendant les eaux opalines. Ces parties se déposent elles-mêmes peu à peu et colmatent le fond et les bords de la cuvette. Elles la rendent un peu plus étanche en ces points qu'au début, lorsque tout vient d'être nettoyé. Il va sans dire que si on laissait trop longtemps le canal sans nettoyage, la cuvette se fissurerait peu à peu et que sa perméabilité finirait par augmenter rapidement, mais il n'y a rien d'impossible à ce que, pendant une certaine période qui suit le nettoyage, l'action du colmatage que l'on vient de faire comprendre ajoute à l'imperméabilité de la cuvette.

Minéralisation. — Voyons maintenant ce qu'est devenue la composition de l'eau pendant la première période semestrielle.

La somme des résidus fixes a peu oscillé autour de la moyenne 2,250 et une partie des oscillations est due peut-être aux erreurs d'analyse.

La proportion d'acide sulfurique a également peu varié autour de 0g,453. On remarque toutefois une augmentation légère et continue de novembre à la première quinzaine de mars, dont il est assez difficile de se rendre compte, mais qui n'a et ne peut avoir qu'un intérêt secondaire.

Quant à la contenance en soufre, qui est la chose essentielle, elle donne lieu aux chiffres 3,5 — 4 — 3,9 — 4,2 —

2,7 — 3,5 et 3,4 milligrammes; ce dernier étant obtenu pendant le chômage.

Le chiffre 2,7 (première quinzaine de mars) est anormal; comme il a été obtenu par la moyenne de 3 chiffres, 2,8, 2,7 et 2,5, nous ne pouvons l'attribuer à des erreurs d'analyse; il ne vient certainement pas d'un afflux plus considérable d'eau douce du canal, puisque le débit à ce moment est tombé à 56 litres. En l'élaguant nous constatons que la minéralisation en soufre a oscillé de $3^{millig.}$,4 à $4^{millig.}$,2. Elle n'a d'ailleurs suivi aucune loi de diminution ou d'augmentation simple dans la période considérée. Notamment pendant le chômage, et immédiatement après, nous voyons le titre en soufre se maintenir à 3,5 et 3,4, tandis qu'il a été jusqu'à 4,2 en février.

Il résulte de là, clairement, que pendant le semestre considéré, si le canal n'est pas indifférent au débit de la source, comme cela résulte de la discussion précédente relative au débit, il l'est quant à la minéralisation. Ce fait n'a rien qui doive surprendre : tant que la quantité d'eau douce introduite dans le sous-sol sera assez faible, ce qui sera le cas pour le canal bien établi et en bon état d'entretien, ce qu'il en proviendra subira les mêmes actions souterraines que les eaux qui ont donné à toutes les époques, soit avant, soit après l'exécution du canal, lieu à la source des Camoins. Ces eaux se chargent toujours des mêmes principes réducteurs du sulfate de chaux et, par suite, de quantités semblables d'hydrogène sulfuré.

Semestre d'été. — Abordons la période vraiment intéressante, qui est à la fois celle où l'établissement reçoit des malades et celle des arrosages.

Débit. — Le débit moyen passe de 63 litres (avril) à 101 (mai), 184 (juin), 250 (juillet), 266 (août), et 315 (septembre); au commencement d'octobre les arrosages n'ont plus lieu que dans la journée; le débit tombe à 136,

enfin le chômage du canal qui amène en même temps la suppression des arrosages arrive, et la source ne fournit plus que 90 litres.

Il y a là une progression si remarquable qu'elle a, au point de vue des conclusions qu'on peut en tirer, la clarté de l'évidence. Il est manifeste qu'à mesure qu'on arrive dans la saison chaude et que les arrosages deviennent plus abondants, les infiltrations à travers le sol extrêmement perméable parviennent aux canaux souterrains qui donnent lieu à la source des Camoins.

Minéralisation. — Pendant ce temps, la minéralisation de l'eau donne lieu aux observations suivantes :

Le résidu fixe oscille toujours peu autour de sa moyenne et cela malgré l'introduction d'une quantité d'eau douce considérable dans les canaux souterrains.

La proportion d'acide sulfurique qui a augmenté dans le premier semestre continue ce mouvement jusqu'en mai à l'époque des arrosages, pour redescendre progressivement jusqu'à la fin des arrosages. Il est bien probable que l'adduction des eaux du canal est la cause de cette modification. Ce fait comparé à celui de la proportion moyenne, restant toujours la même, du résidu fixe, donne lieu de penser que les carbonates de chaux et de magnésie qui, après le sulfate de chaux, forment la majeure partie du résidu fixe, et qui se dissolvent à la faveur de l'action de l'acide carbonique contenu dans les eaux, entrent plus rapidement en dissolution que le sulfate de chaux, de manière à établir une sorte de compensation.

Quoi qu'il en soit, la faible différence dans les proportions du sulfate de chaux a peu d'importance.

Mais si l'on passe à la quantité de soufre contenue, qui donne aux eaux leurs qualités médicinales et leur principe essentiel, on voit les proportions de ce métalloïde descendre progressivement en même temps que les débits augmentent, jusqu'à ne contenir plus que 1$^{\text{millig.}}$,1. L'action

est continue, et maxima en septembre. Il importe de remarquer que pendant les trois mois de juin, juillet et août et jusqu'au 15 septembre, les pluies ont été nulles, il est donc impossible d'attribuer à cette cause la diminution dans la contenance en soufre. La diminution atteint à la fin de la saison des bains 70 p. 100 de la quantité normalement contenue. Dès que les arrosages se modèrent (première moitié d'octobre), on voit la quantité de soufre qui était descendue à $1^{\text{millig.}},1$; remonter à $1^{\text{millig.}},7$; dans la période de chômage le terrain plein d'eau se ressuie peu à peu, et comme il n'y pas introduction de nouvelle eau douce, le soufre atteint $2^{\text{millig.}},9$, et enfin en novembre la moyenne se rapproche de celle qui résulte des essais de l'année précédente, ce qui permet de conclure qu'une nouvelle période va commencer et se dérouler en offrant des phénomènes en tout comparables à ceux qu'on a analysés pour l'année antérieure.

Les recherches du soufre de la surverse du tableau de la page 9 donnent lieu à cette observation un peu inattendue, mise en évidence par le semestre d'été jusques et y compris octobre et novembre 1879, c'est que les quantités de soufre dans la surverse y varient en sens inverse de la buvette. Cela s'explique aisément : quand il passe des quantités très faibles d'eau, la part de la surverse est insignifiante, le trajet à l'air libre est prolongé et tout le soufre part. A l'époque des forts débits, la surverse est elle-même considérable, les eaux y coulent très rapidement et moins en contact avec l'air à cause de leur masse : double raison pour qu'elles ne se dépouillent pas aussi complètement du métalloïde minéralisateur.

Il résulte en somme de l'étude qui précède :

1° Que lorsque le canal est en bon état d'entretien dans la partie en amont de la source, sa présence ne se manifeste que par des suintements plus ou moins lents qui ne

paraissent pas pouvoir, à eux seuls, altérer la nature des eaux, la quantité ainsi introduite étant assez faible et cheminant assez lentement pour se minéraliser de la même façon que les eaux de la source préexistantes au canal. Dans ces conditions la présence du canal n'aurait qu'une action bienfaisante, qui serait d'augmenter le débit.

2° Que les arrosages ont une influence désastreuse sur la source des Camoins; ils peuvent lui faire perdre, précisément à l'époque de la saison balnéaire, plus des 2/3 du principe sulfureux qui constitue son principe actif essentiel.

Une troisième question se poserait, mais l'on ne peut que l'indiquer ici; ce n'est que par des essais analogues à ceux dont il vient d'être rendu compte, et prolongés pendant un temps suffisamment long, qu'on pourrait la résoudre : de ce que le canal ne paraît avoir, en bon état d'entretien, aucune action nuisible sur la source, il ne s'ensuit pas que lors des effondrements de la cuvette, constatés maintes fois, il n'y ait pas eu des actions perturbatrices permanentes exercées. Bien plus, le contraire comporte un haut degré de probabilité. D'abord le fait dont j'ai parlé plus haut, de la disparition de la source Michel et de la naissance d'une source nouvelle à une distance de 550 mètres de là, montre que le fait en question s'accuse d'une manière évidente sur une source de même régime. De plus, le bon sens seul fait comprendre que, si pendant plusieurs heures de suite, comme cela a eu lieu dans les cas de rupture de la cuvette, l'eau douce a empli les canaux souterrains et est sortie à gueule bée de la galerie de captage, cela n'a pu manquer de déterminer des mouvements intérieurs dans ces canaux souterrains, et enlever probablement, d'une manière toute mécanique, une partie des matières organiques dont la présence est nécessaire à la réduction des sulfates. Les conduits ont dû être élargis, lavés, et il est probable qu'à la suite de ces actions perturbatrices les eaux superficielles

ont mis moins de temps qu'autrefois pour arriver à l'émergence et qu'elles se sont moins minéralisées.

Pour s'en rendre compte, il aurait fallu, après chaque envahissement, instituer des essais analogues à ceux dont il vient d'être parlé. On ne l'a pas fait; on pourra le faire si de nouvelles ruptures ont lieu.

De plus, l'action permanente des arrosages semble pouvoir produire un effet semblable. Lorsque l'on voit le débit devenir pendant les mois d'été jusqu'à 5,6,7 fois le débit de la source pendant le chômage précédent, on doit se dire que non seulement, à ce moment-là, la source diminue de minéralisation, mais que ces quantités d'eau qui circulent produisent d'une manière continue l'appauvrissement en matières organiques et le délavage dont on parlait plus haut comme résultat de l'envahissement brusque; en d'autres termes que les arrosages semblent devoir, au bout d'un nombre d'années, sur lequel on n'a pas d'idée nette, faire pour ainsi dire disparaître d'une manière lente et continue la source.

L'étude de cette dernière action n'offre pas de difficulté, et il suffira de tenir note chaque année des quantités de soufre contenues dans les eaux pour voir si, aux mêmes époques de l'année, elles accusent une diminution qui devra aller graduellement en s'accentuant pour arriver à une quantité de soufre, soit nulle, soit inférieure à ce qu'on y trouve aujourd'hui, mais qui, restant permanente, indiquerait l'état stable de la source concomitant avec l'existence des arrosages.

Marseille, 30 avril 1880.

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS EN 1879

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX.

I. — LABORATOIRE D'ALAIS.

Travaux de M. de CASTELNAU, ingénieur des mines. (EXTRAIT).

Il a été effectué, pendant l'année 1879, dans le laboratoire de chimie du sous-arrondissement minéralogique d'Alais, de nombreux essais par voie sèche de minerais de plomb provenant tous des travaux de recherche entrepris à l'appui de la demande en concession des mines de plomb de Génolhac, concession qui vient d'être instituée.

Tableau N° 1.— Ces essais avaient surtout pour but de rechercher la proportion d'argent que renferment les galènes et les phosphates de plomb des filons de Génolhac.

Essais par voie sèche de minerais provenant des travaux de recherches de mines de plomb argentière à Génolhac.

NATURE DES ÉCHANTILLONS.	PROVENANCE		Plomb p 100 de minerai.	Argent par 100 kilog de plomb.
	Nom du filon.	Lieu précis ou l'échantillon a été prélevé.		
Quartz galéneux (galène à petits grains)	Filon de Lennet..	Attaque N° 2...............	12	105 gr.
d°	d°	Grande tranchée...........	53	153
Dolomie galéneuse (galène à larges facettes)........................	d°	d°	56	89
d°	d°	d°	20	50
Roche quartzeuse avec plomb phosphaté........................	Filon de la Brékilière	Puits à 16^{m} de profondeur.	10	140
Quartz galéneux....................	d°	A l'avancement de la galerie Ouest..................	29	228
d°	d°	Puits......................	26	305
Carbonate de plomb et galène.......	Rédarès.	Déblais du puits aboutissant au jour................	45	175
d°	d°	Au toit de la galerie, près du 2° puits	15	109
Plomb phosphaté et carbonaté......	Saint-Joseph.	Déblais du puits des martyrs	87	16
Quartz galéneux	d°	Puits des Martyrs.........	53	159
Terres plombeuses..................	d°	Déblais du puits..........	7	54
Baryte blanche avec filets de quartz galéneux	d°	Quartier du Garnavel, déblais de l'attaque N° 1..	8,5	388
Baryte rosée sur certains points (pris sur les tas)..................	d°	d°	traces.	»
Galène avec dolomie et carbonate de chaux.........................	Finoune.	Sur le carreau de la mine..	49	54
Galène avec blende, pyrite de fer et quartz.........................	La Brèche.	d°	18	353
Quartz avec mouches de galène	Plagnols.	Ruisseau de la Malotière (1re veine)..............	9,5	945
d°	d°	d°	32	1236
d°	d°	Filon du gué..............	30	846
d°	d°	d°	11	1047

Tableau N° 2.— Les terres ferrugineuses qui entrent en grande proportion dans le remplissage des filons contenus dans le granite décomposé de Génolhac deviennent plombeuses quand elles appartiennent à des colonnes enrichies.

Elles constituent donc un minerai pauvre dont la teneur, d'après plusieurs analyses, peut être évaluée à 7 p. 100, et elles augmenteraient considérablement la quantité de matière utile s'il était possible d'en faire des produits marchands. On a essayé de les laver par les procédés ordinaires ; mais, soit que l'essai ait été incomplet, soit que la constitution de ces terres se prête mal à ce mode d'enrichissement, on n'a pas réussi.

On a eu alors l'idée de se servir d'un appareil dit « trieur à soufflet » qui a été employé en Espagne à enrichir d'anciennes scories plombeuses que l'on supposait contenir en moyenne 4 p. 100 de plomb.

Le principe de cet appareil est le suivant : un soufflet ordinaire force le vent à travers trois toiles métalliques superposées dont les dimensions sont les suivantes : 4 millimètres ; 1/2 millimètre ; 1/10 de millimètre.

Le vent ainsi parfaitement divisé arrive dans une boîte rectangulaire, dans laquelle descendent régulièrement par une trémie, à l'une des extrémités, les matières à classer ; ces matières, en s'avançant peu à peu vers l'autre extrémité de la boîte, sont soulevées et mises en suspension dans l'air par les coups de vent successifs et rapides lancés par le soufflet ; à cette extrémité se trouve un déversoir par lequel s'échappent les parties stériles qui, par suite de leur plus grande légèreté, viennent à la surface et sont entraînées par le vent au moment où elles sont soulevées ; à cette même extrémité une vanne s'ouvrant régulièrement vers la partie inférieure permet l'échappement des matières plus riches, que leur poids, au fur et à mesure de leur mouvement en avant, a entraînées vers le fond ; en un mot, c'est une sorte de bac à piston à air dans lequel l'entraînement automatique de la partie stérile s'effectue par l'élément dans lequel la matière à classer est mise en suspension (*).

(*) Voir à ce sujet le mémoire de M. Henry, *Annales des Mines*, 1er vol. de 1871, p. 356.

Le nombre de coups de vent, l'ouverture de la trémie et l'échappement du riche peuvent être modifiés et réglés suivant la nature et la grosseur de la matière à classer.

M. l'ingénieur en chef Julien ayant voulu se rendre compte des résultats que l'on peut attendre de ces appareils, un essai a été fait devant nous par les demandeurs en concession, sur 2 mètres cubes de terres plombeuses prises sur le carreau des travaux de recherche exécutés dans deux filons, dits Saint-Joseph et de la Brézilière.

Ces terres ont été préalablement séchées, puis classées par grosseur à travers des cribles à mailles carrées de 1, 2, 3, 4 et 5 mill. de côté; ce qui est passé à travers le crible n° 1 a été passé au tamis de soie qui a produit le n° 0; le résidu a produit le n° 1. Cela fait, on a traité à la machine les n°s 2, 3, 4, 5, les numéros inférieurs ayant des dimensions trop faibles pour être soumis à ce mode de classement; on a ensuite traité une deuxième fois les parties riches des n°s 2, 3, 4, 5 fournies par la première opération.

A chaque opération des prises d'essai soigneusement faites ont été exécutées et ont été analysées par voie sèche pour plomb et pour argent au laboratoire de chimie du sous-arrondissement d'Alais.

Tableaux des essais effectués au trieur à soufflet.

L'opération a été faite sur 2 mètres cubes de terres brutes sèches pesant 2843 kilogrammes.

Teneur en plomb p. 100 7,40
d° argent 81 grammes aux 100 kilog. de plomb.

1re OPÉRATION. — CRIBLAGE.

Numéros des Terres.	POIDS.	TENEUR en plomb p. 100.	TENEUR en argent aux 100 kilos de plomb.
	Kil.		
0	455,50	9,45	? grammes.
1	512,00	9,60	64
2	532,50	8,80	74
3	665,00	5,75	126
4	225,50	3,00	183
5	132,50	1,90	?
Gros.	264,00	1,40	221

2e OPÉRATION. — TRIAGE.

Numéros des terres.	Nombre de coups de piston du soufflet, c'est-à-dire de coups de vent par minute.	Durée de l'opération.	RICHE Poids.	RICHE TENEUR en plomb p. 100.	RICHE TENEUR en argent par 100 kilog de plomb.	PAUVRE Poids.	PAUVRE Teneur en plomb p. 100.	Perte en poids.	OBSERVATIONS.
		min.	kil.			kil.		kil.	
2	600	50	141,50	14,35	52	345,00	5,28	46	Par suite du mauvais réglage de l'appareil, l'opération sur le N° 2, presque terminée une fois, a dû être entièrement reprise; cela explique la surélévation de la perte.
3	667	60	225,50	15,00	52	418,50	1,60	21	
4	667	20	97,00	10,60	47	150,00	0,65	8	
5	693	9	36,50	9,95	55	91,50	0,35	4.5	
Repassage des riches.									
Riche N° 2	667	25	75,00	26,60	52	60,00	7,45	6,00	
— 3	614	26	115,50	22,20	31	107,50	1,30	6,50	
— 5	667	»	11,05	24,25	55	35,55	6,50	3,40	

Il ne faudrait point juger de la marche de l'appareil et des services qu'il pourra rendre par les résultats de ces essais, car ils ont été faits à la hâte par des opérateurs inhabiles et n'ayant aucune connaissance pratique de la marche et surtout du réglage de l'appareil. Néanmoins ils permettent d'entrevoir la possibilité de tirer parti, dans une certaine mesure, de terres plombeuses sans valeur, produites en assez grande quantité par les filons de Génolhac et que jusqu'ici les explorateurs avaient inutilement essayé d'enrichir.

Si on peut, sans pertes sensibles et à peu de frais, étant donnée une terre de teneur t, produire dans une première opération une qualité demi-riche de teneur t_1 et des terres pratiquement stériles, puis, dans une deuxième opération sur la qualité t_1, du riche vendable et de la terre de teneur t qui rentrerait dans la série des opérations, le problème serait résolu.

II. — LABORATOIRE D'ANGERS.

Travaux de M. BROSSARD DE CORBIGNY, ingénieur en chef des mines (EXTRAIT).

§ 1er. — CHARBONS.

1. Mine de St-Lambert : Charbon très-dur. Veine sud.
2. d° Charbon tendre.
3. Mine de Faymoreau, puits du Canteau. Veine nord.
4. d° d° Veine sud n° 1.
5. d° d° Veine sud n° 2.

	1.	2.	3.	4.	5.
Matières volatiles......	7,5	7,8	22,5	21,3	22,3
Carbone fixe..........	82,0	76,9	70,7	70,8	69,2
Cendres.............	10,5	15,3	6,8	7,9	8,5
Total........	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Plomb réduit par 1 gramme de houille....	28,0	26,0	29,3	28,9	29,4

§ 2. — SCHISTE.

Schiste oléifère de Faymoreau.

Matières volatiles liquides ou gazeuses	31,3
Charbon.............................	8,9
Matières minérales......................	59,8
	100,0

III. — LABORATOIRE DU MANS.

Travaux de M. LODIN, ingénieur des mines. (EXTRAIT)

§ 1er — ENGRAIS ET AMENDEMENTS.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Humidité	8.70	14,90	11,27	3,80	»	10,15
Azote (Dosage sous forme d'ammoniaque)	1,26	4,20	1,26	1,96	6,40	1,82
Autres matières volatiles	38,46	32,70	32,79	29,34	»	50,68
Résidu insoluble dans les acides	4,70	9,76	9,60	20,40	»	7,10
Phosphate de chaux soluble	7,61	17,70	1,26	»	15,07	8,23
Id. insoluble	25,28		15,86	8,26		20,70
Potasse	»	2,87	»	»	»	»
Substances non dosées	18,99	18,43	27,76	36,24	»	1,87
Totaux	100,00	100,00	100,00	100,00	»	100,00
Acide phosphorique correspondant au phosphate soluble	4,65	8,10	0,56	»	6,70	4,90
Acide phosphorique correspondant id. insoluble	11,60		9,44	3,67		9,20
Totaux	16,25	8,80	10,00	3,67	6,70	14,10

Le numéro 1 est un échantillon de phospho-guano qui a été envoyé par M. Morancé, représentant de commerce au Mans. Cet engrais possédait l'odeur caractéristique et l'aspect ordinaire des guanos ; il contenait une faible quantité d'azote, caractère que l'on rencontre ordinairement dans les guanos actuels. La teneur en acide phosphorique est assez considérable ; mais la plus grande partie de cet acide est à l'état insoluble, ce qui en diminue notablement la valeur.

Le numéro 2 qui avait été vendu sous le nom d'engrais *concentre* par la maison Alexandre Jaille, d'Agen, a été adressé par M. Delhommeau, négociant à Savigné-l'Evêque. Cet engrais était annoncé comme devant contenir 5 à 6 p. 100 d'azote, 3 à 5 p. 100 de potasse et 15 à 20 p. 100 de phosphate de chaux. Sauf pour cette dernière substance, on voit que les teneurs obtenues directement sont un peu inférieures aux teneurs annoncées.

Le numéro 3 est un engrais ayant l'aspect et l'odeur caractéristique du guano, qui a été adressé par M. Bernier, négociant à Montfort. Comme le numéro 1, cet engrais contient une très-faible quantité d'azote; la proportion d'acide phosphorique est de 10 p. 100; mais 0,56 seulement à l'état soluble, ce qui attribue à cet engrais une valeur très médiocre.

L'échantillon désigné sous le numéro 4 a été envoyé par M. Busson, fermier à Pont-de-Gennes. Cet engrais ne contenait pas de phosphate de chaux soluble et sa teneur en phosphate tribasique n'était que de 8,26 0/0. La proportion d'azote y es très faible.

Le numéro 5 est un guano qui a été adressé par M. Grêlé, meunier à Tuffé. Les proportions d'azote et de phosphate de chaux total garanties par le vendeur étaient respectivement de 6 à 7 p. 100 et de 15 à 20 p. 100. Comme on le voit, les quantités que nous avons trouvées sont bien celles que l'on avait annoncées.

Le numéro 6 a été envoyé par M. Bellanger, mécanicien à Ecommoy. La quantité d'azote contenue dans cet engrais n'est que de 1,82 p. 100; mais la proportion de phosphate de chaux est assez considérable.

Marne.— M. Barré, propriétaire à Evaillé, nous a adressé deux échantillons de marne destinée à être employée comme amendement. L'analyse de ces échantillons a donné les résultats suivants :

N° 1	Carbonate de chaux....	76,80	N° 2.	Carbonate de chaux....	68,40
	Id. de magnésie.	0,80		Id. de magnésie.	0.76
	Résidu insoluble.......	21,00		Résidu insoluble.......	26,80
	Eau et perte...........	1,90		Eau et perte	4,04
		100,00			100,00

§ 2. — ANTHRACITE..

M. Morché, chaufournier à Evron, a envoyé trois échantillons d'anthracite avec prière de les examiner; les difficultés auxquelles ce combustible donnait lieu dans la conduite du four l'avaient engagé à faire cette demande.

	1.	2.	3.
Perte par calcination au creuset fermé.	9,72	9,42	9,58
Cendres	4,75	2,20	18,40
Carbone fixe......................	85,53	88,38	72,02
Totaux...........	100,00	100,00	100,00

Ces divers échantillons provenaient de Swansea, les deux premiers sont remarquablement purs; le troisième contient au contraire une forte proportion de cendres. Cependant ce n'était pas ce dernier qui donnait lieu à des accrochages dans la cuve des fours à chaux, c'était le numéro 2. L'influence défavorable de celui-ci doit être attribuée à la présence d'une quantité très notable de pyrite, reconnaissable à l'odeur sulfureuse que donnait le combustible quand on le brûlait et à la proportion de fer que renfermaient ses cendres.

IV. — LABORATOIRE DE MARSEILLE.

Travaux de M. OPPERMANN, ingénieur des mines. (EXTRAIT).

§ 1er. — CALCAIRES.

1. *Calcaire à ciment.* — Envoi de M. Mazet, à Marseille, provient de Trets (Bouches-du-Rhône), quartier de la Tuilerie. Terrain à lignite. Essayé au point de vue de son hydraulicité.

Calcaire homogène, très dur, cassure pierreuse. Coloration gris de fumée foncé, est employé actuellement à la fabrication du ciment.

SiO^{3}	0,190
$Al^{2}O^{3}.Fe^{2}O^{3}$	0,035
CaO	0,425
MgO	traces
$CO^{2}.HO$. Pertes	0,350
	1,000

2 à 4. *Calcaires a, b, c.* — Envoi de M. Giraud, fabricant de chaux hydraulique. Ces calcaires proviennent des environs de Septèmes (Bouches-du-Rhône) et l'intéressé désirait savoir s'ils étaient propres à la fabrication du ciment.

a. Calcaire très siliceux, riche en oxyde de fer ; ne peut donner aucun produit.

b. Calcaire grisâtre ; paraît devoir donner de la chaux grasse ou faiblement hydraulique.

c. Calcaire gris-pâle, à grain fin ; semble devoir donner une chaux fortement hydraulique, de la catégorie des chaux-ciments.

	a	*b*
Résidu argileux	0,495	0,090
CaO	0,280	0,487
MgO	traces	traces
$CO^{2}.HO$. Pertes	0,225	0,423
	1,000	1,000

	c
SiO^{3}	0,150
$Al^{2}O^{3}.Fe^{2}O^{3}$	0,037
CaO	0,452
MgO	traces
$CO^{2}.HO$. Pertes	0,361
	1,000

5. *Mortier hydraulique.* — Présenté par MM. Magnay et Gavoty, fabricants d'huiles à Marseille. Ce mortier, donné comme de première qualité, avait été employé à la confection de piles à huile, et n'a tenu que peu de temps. Il renfermait de nombreuses traces de matières organiques (débris de végétaux) et de gros grains de quartz ayant jusqu'à 3 mill. de diamètre. Sa résistance était faible et on pouvait le casser sans peine avec les doigts.

Les résultats ci-contre donnés par l'analyse font voir que le sable employé était poussièreux et fortement calcaire, et devait donner par conséquent un mortier de mauvaise qualité.

Sable quartzeux	0,138
Silice gélatineuse	0,088
$Al^2O^3.Fe^2O^3$	0,077
CaO	0,380
MgO	0,008
CO^2 et mat. org	0,236
Eau	0,073
	1,000

6. 7. *Calcaires à ciment a, b.* — Envoi de M. Giraud, fabricant de chaux et de ciment. Ces deux échantillons proviennent de Septèmes (Bouches-du-Rhône), quartier de Tubies.

a. Calcaire grisâtre ; aspect terne et terreux ; à grain fin, homogène, assez tendre.

b. Calcaire gris-pâle avec de petites mouches d'oxyde de fer ; aspect terreux ; moins homogène que le précédent.

Ces calcaires sont employés à la fabrication du ciment.

	a	*b*
SiO^3	0,182	0,197
$Al^2O^3.Fe^2O^3$	0,088	0,112
CaO	0,384	0,340
MgO	0,010	0,031
CO^2.HO. Pertes	0,336	0,320
	1,000	1,000

§ 2. — COMBUSTIBLES.

1, 2. *Lignite a, b.* — Deux échantillons de lignite provenant du sondage effectué près de Peynier, au quartier de la grande Bastide pour la recherche du prolongement des couches du bassin de Fuveau. Ce sondage a atteint la couche dite *grande mine* à une profondeur de 317^m. La grande mine, d'après ce sondage, paraît aussi puissante dans la région de Peynier que dans les autres parties du bassin de Fuveau, et la qualité du lignite y est, à peu de chose près, identique.

Une demande en concession est en instance.

a. Gros.

b. Menus.

	a	b
Matières volatiles	0,485	0,450
Carbone fixe	0,463	0,440
Cendres	0,052	0,110
	1,000	1,000
Plomb avec PbO	22,820	21,900
Carb. équivalent	0,671	0,644
id. aux mat. vol.	0,208	0,204

3, 4. *Houille a, b.* — Envoi de M. Roche, ingénieur des mines à Nice. Provient des recherches effectuées par M. Moutet, à Collobrières (Var), lequel vient de formuler une demande en concession.

a Gros.

b Menus.

Houille maréchale, de seconde forge, d'un beau noir luisant, très friable. Le soufre n'a pas été dosé. Le coke est boursouflé mais peu résistant. Cette houille provient d'une couche de 0^m60 de puissance, située dans un lambeau très limité du terrain houiller du Var.

	a	b
Matières volatiles	0,250	0,258
Carbone fixe................	0,680	0,462
Cendres	0,070	0,280
	1,000	1.000
Plomb avec PbO............	27,200	25,850
Carbone équivalent..........	0,800	0,760
Id. id. aux mat. vol.	0,120	0,298

5. *Lignite.* — Lignite provenant des recherches faites par M. Verlaque, à 1.500m au nord de Géménos (B. du Rhône). On a trouvé trois couches d'un mauvais lignite dans des marnes et des grès analogues à ceux de Saint-Zacharie (Var). Ce gisement n'a aucun avenir. On remarquera la quantité considérable de cendres.

Le coke était complétement pulvérulent.

Matières volatiles....................	0,500
Carbone fixe	0,150
Cendres	0,350
	1,000
Plomb avec PbO.....................	8,500
Carbone équivalent..................	0,250
Id. id. aux matières volatiles.	0,100

6 à 8. *Houille a, b, c.* — Présentée par MM. Savout frères, entrepositaires de houille anglaise, à Marseille. Trois échantillons provenant de Cardiff, et dénommés : " Cory's Merthyr Cannel Steam ".

C'est une houille un peu sèche, assez friable, d'un beau noir brillant. Le coke est pulvérulent, les cendres sont grisâtres.

On remarquera la faible quantité de matières volatiles et la teneur en carbone, qui rapprochent ce combustible des houilles anthraciteuses.

a, *b*. Menus.

c. Menus plus fins.

	a	b	c
Matières volatiles	0,138	0,148	0,170
Carbone fixe	0,817	0,778	0,730
Cendres	0,045	0,074	0,100
	1,000	1,000	1,000
Plomb avec PbO	29,100	28,000	30,000
Carbone équivalent	0,856	0,823	0,882
Id. id. aux mat. volatiles	0.039	0,045	0,152

9. *Houille.* — Envoi de M. Didier, à Marseille.

C'est un échantillon de houille maigre, provenant de La Calla (Suisse), et dont le gisement se trouve, paraît-il, dans des couches jurassiques.

La couleur est d'un assez beau noir, la texture légèrement feuilletée et friable. Le coke est tout à fait pulvérulent.

Matières volatiles	0,430
Carbone fixe	0,520
Cendres	0,050
	1,000
Plomb avec PbO	26,700
Carbone équivalent	0,785
Id. id. aux matières volatiles	0,265

§ 3. — MINERAIS.

1. *Cuivre carbonaté bleu.* — Provient de la concession du Cap Garonne (Var). Envoi du concessionnaire. L'échantillon a été envoyé pulvérisé. On a dosé le cuivre seulement.

Cu .... 7 p 100

2. *Galène.* — Remis par M. Didier, à Marseille, Provient de la montagne de Saleutin, canton du Valais (Suisse).

Echantillon à grains serrés et brillants. Gangue quartzeuse très abondante.

Pb	87 p. 100
Ag	traces

3. *Limonite* (*fer oxydé hydraté*). — Envoi de M. Pascal Marius, à Marseille. Provient du département de la Manche.

C'est une sorte de limonite terreuse, très riche en silice, qui affecte quelque peu la forme de stalactites ; très friable. Couleur brun-jaunâtre ; la poussière est jaune.

Sur la demande de l'intéressé, on a dosé le fer seulement.

Fer métallique	35 p. 100

§ 4. — LIMONS.

Limons de la Durance. — Dépôts semestriels du 1[er] octobre 1877 au 30 mars 1878 (*a*) et du 1[er] avril au 30 septembre 1878 (*b*), recueillis au Pont de Mirabeau.

Représentent la composition moyenne des matières qui ont passé dans la Durance pendant ces deux périodes.

	a	*b*
SiO^3	0,345	0,338
$Al^2O^3.Fe^2O^3$	0,185	0,188
CaO	0,255	0,259
MgO	traces	traces
CO^2.HO. Mat. org. Pertes	0,215	0,215
	1,000	1,000

V. — LABORATOIRE DE MÉZIÈRES.

Travaux de M. NIVOIT, ingénieur des mines. (EXTRAIT).

§ 1. — De l'acide phosphorique dans les roches de l'Ardenne.

Le *sartage* est un procédé de culture particulier à l'Ardenne et à quelques autres contrées montagneuses de la France, qui consiste dans l'ensemencement en seigle, et quelquefois en sarrasin, des coupes récentes des forêts. Dans une série de recherches que nous avons entreprises sur ce procédé, surtout au point de vue de l'épuisement présumé du sol, nous avons été amené à doser la chaux, la magnésie, la potasse et l'acide phosphorique que contiennent les différentes roches des terrains ardennais.

Nous donnons ci-dessous la teneur en acide phosphorique d'un certain nombre de roches; nous avons trouvé cette substance à peu près partout, et l'on peut dire que les roches qui n'en renferment pas constituent de rares exceptions. Pour faire cette détermination, nous avons toujours opéré sur 10 grammes de matière, et nous avons suivi la méthode décrite avec détails par M. Grandeau, dans son *Traité d'analyse des matières agricoles*, p. 88, méthode basée sur la précipitation de l'acide phosphorique par le molybdate d'ammoniaque et sur le dosage de cet acide à l'état de phosphate de magnésie.

Roches cristallisées.

	Quantité d'acide phosphorique p. 100.
Hyalophyre massif de la commune de Revin	0,186
Id. id. de Mayrupt	0,192
Id. id. de Laifour	0,206
Id. à tendance schisteuse de la Commune	0,192
Id. schistoïde de Laifour	0,211

	Quantité d'acide phosphorique p. 100.
Hyalophyre très schistoïde des Dames de Meuse...........	0,224
Id. schistoïde de Mayrupt	0,294
Diorite chloritifère de la Commune	0,205
Id. de Mayrupt	0,230
Id. feuilletée de la Fosse-aux-bois (Harcy)............	0,205
Albite chloritifère de Mayrupt	0,218
Id. id. de Laifour.............................	0,243
Id. phylladifère de Revin	0,160
Cristal d'orthose extrait de l'hyalophyre massif de Mayrupt.	0,096

Nous rappellerons que, d'après A. Dumont, l'*hyalophyre* est formé essentiellement d'eurite, d'orthose et de quartz ; la *diorite* d'amphibole, de feldspath et de chlorite ; l'*albite chloritifère* d'albite et de chlorite ; l'*albite phylladifère* de petits cristaux d'albite entremêlés de petits feuillets de phyllade. Toutes ces roches se trouvent en bancs intercalés entre les schistes siluriens, de Deville à Revin.

On voit que, dans chaque espèce, la proportion d'acide phosphorique ne varie qu'entre des limites assez peu éloignées. Nous pensons que cette substance entre dans la composition des minéraux constitutifs des roches ; c'est ce que tendrait au moins à prouver la présence de l'acide phosphorique dans un cristal d'orthose. MM. de la Vallée-Poussin et Renard, qui ont fait l'étude microscopique des roches cristallisées des Ardennes françaises (*Bruxelles*. 1876), ne signalent point d'ailleurs d'apatite ni de vivianite dans ces roches.

Phyllades.

		p. 100.
Phyllade	bleu foncé perforé de Laifour	0,002
Id.	gris verdâtre de Deville........................	traces
Id.	verdâtre avec octaèdres de fer oxydulé de l'ardoisière de Saint-Barnabé (Deville).............	0,073
Id.	bleu de l'ardoisière de la Fosse-aux-bois (Harcy)...	0,003
Id.	violet de l'ardoisière de Ste-Marie (Fumay).......	0,070
Id.	bleu violet de l'ardoisière de Ste-Anne (Fumay)...	0,064
Id.	rouge de la même ardoisière..................	0,032
Id.	blanchâtre altéré des bois de Fumay	0,002

	Quantité d'acide phosphorique p. 100.
Phyllade violet à *Oldhamia* de Haybes	0,083
Id. gris-clair de La Val-Dieu	0,089
Id. bleu de Tournavaux	0,077
Id. bleu de Haulmé	0,096
Id. vert de Montcy	0,115
Id. violet de Montcy	0,122

Les quatre derniers phyllades, qui appartiennent au terrain dévonien, sont en général un peu plus phosphatés que les autres, qui sont intercalés dans le terrain silurien. En tout cas, ces roches ont une teneur en acide phosphorique bien moins élevée et moins régulière que les roches cristallisées.

Schistes.

Schiste argileux de la Famenne, près de Givet	traces
Id. grossier bigarré de Nouzon	traces
Id. grossier, à trilobites et calcéoles, de Vireux-Molhain.	0,051
Id. fossilifère de Nouzon	0,057
Id. avec grains de felspath de la Pillette (Revin)	0,054
Id. un peu felspathique, près des diorites de Laifour	0,077

Quartzites et grès.

Arkose à gros grains de Fépin	0,002
Grès blanchâtre, près de Montcy	0,008
Grauwacke de Braux	traces
Quartzite bleuâtre de l'Enveloppe (Monthermé)	traces
Id. vert pâle de Deville	0,002
Id. feuilleté de l'Enveloppe	0,035
Quartzo-phyllade verdâtre de Montcy	0,057
Quarto-phyllade vert de Montcy	0.096

Les schistes, et surtout les quartzites et les grès, contiennent donc, en général, moins d'acide phosphorique que les phyllades. Il est à remarquer que les schistes fossilifères et ceux qui avoisinent les roches cristallisées présentent une teneur plus élevée que les autres schistes; il en est de même pour les quartzites passant aux phyllades relativement aux quartzites massifs.

Roches diverses.

	Quantité d'acide phosphorique. p. 100
Calcaire bitumineux dévonien de Givet	0,064
Schiste calcaire intercalé dans les schistes dévoniens à Haulmé.	0,047
Calcaire à entroques (dévonien) de Naux	0,128
Nodules argileux, intercalés dans les phyllades bleu foncé à l'ardoisière de Saint-Paul (Haybes)	0,192
Minerai de fer manganésifère de Charnois	0,630
Minerai de fer des Hazelles	0,900

L'acide phosphorique existe en forte proportion dans les minerais de fer. Aussi ces minerais, qui ne sont d'ailleurs plus exploités, ne donnaient que des fers médiocres.

§ 2. — Nodules phosphatés.

Nodules phosphatés de Lavoye (*Meuse*). — La commune de Lavoye vient de faire exécuter des fouilles pour la recherche des phosphates de chaux fossiles dans le quart en réserve de la forêt communale. On a trouvé une couche de 16 à 20 centimètres d'épaisseur de nodules, appartenant à l'étage du Gault, à une profondeur variant de 1m10 à 3m20. L'analyse, faite sur le résultat du mélange provenant de 12 puits, nous a donné les résultats suivants :

Perte par calcination	7,30
Sable et argile	32,00
Acide phosphorique	19,17
Acide sulfurique	1,03
Autres matières (par différence)	40,50
	100,00
Phosphate tricalcique	41,85

Par la méthode défectueuse dite d'*analyse commerciale*, on trouve 47, 50 °/₀ de phosphate.

Ces nodules sont donc avantageusement exploitables.

§ 3. — Calcaires et marnes.

1° *Calcaires dévoniens de Naux et Givet.* —Le calcaire est très-rare dans toute la formation schisteuse qui s'étend de Charleville à Vireux; il ne forme là que quelques lentilles intercalées au

milieu des schistes. De Vireux à Givet, au contraire, il se présente en couches puissantes, exploitées pour la construction ou pour la préparation de la chaux.

	a	b	c
Perte par calcination	28,70	39,62	39,84
Sable et argile	33,25	4,74	9,60
Oxyde de fer..............	2,07	»	0,50
Chaux	35,50	54,30	49,00
Magnésie..................	0,12	0,80	0,68
Acide sulfurique...........	0,23	0,54	0,32
Acide phosphorique........	0,13	traces	0,06
	100,00	100,00	100,00

a. Calcaire noir très dur avec entroques et grains de quartz, intercalé dans les couches schisteuses du terrain dévonien; exploité à Naux.

b. Calcaire compacte bitumineux; exploité près de Givet. Ce calcaire donne une chaux très blanche, de bonne qualité, dont on se sert pour le chaulage des terres argileuses des environs, reposant sur les schistes de la Famenne. Il ne peut, comme on voit, apporter à ces terres l'acide phosphorique qui lui manque.

c. Calcaire compacte exploité au Mont-d'Hauw, près de Givet, la chaux qu'il fournit par la calcination est grise et assez maigre.

2° *Marnes du calcaire à Astartes.*—Les marnes du calcaire à astartes sont exploitées près de la ferme de Geromont, commune de Bouvellemont (Ardennes), pour l'amendement des terres argileuses. Trois échantillons, envoyés par M. Lahoussay, ont donné à l'analyse les résultats suivants :

	blanche	grise	grise
Eau hygrométrique..............	3,50	4,00	6,20
Perte par calcination............	35,25	32,00	19,80
Argile, sable, et oxyde de fer.....	18,70	26,20	55,53
Chaux	41,76	37,73	18,12
Magnésie.......................	traces	traces	0,32
Acide sulfurique	0,21	0,04	0,03
Acide phosphorique	0.58	0,03	traces
	100,00	100,00	100,00

La marne blanche est la plus calcaire ; elle contient de plus des proportions notables d'acide sulfurique et d'acide phosphorique. On doit donc la préférer aux deux autres.

§ 4. — Eaux.

Eaux de la Meuse et de quelques-uns de ses affluents. — La composition de l'eau de la Meuse et celle de ses affluents varient naturellement avec la nature des terrains que traversent ces cours d'eau. Nous donnons ci-dessus les titres hydrotimétriques de différents échantillons d'eau de la Meuse recueillis en même temps, le 29 novembre 1878, entre Mézières et Givet, avec l'indication des terrains traversés.

Mézières : calcaire à gryphées arquées	18°
Deville : schistes reviniens (silurien)	13° 3/4
Laifour : schistes perforés (silurien)	13° 3/4
Revin : schistes reviniens (silurien)	14° 1/2
Fumay : schistes devilliens (silurien)	12° 3/4
Fépin : poudingues de Fépin (dévonien)	12° 1/2
Vireux : schistes de Burnot (dévonien)	14°
Givet : calcaire de Givet (dévonien)	13° 3/4
Frontière belge : schistes de la Famenne (dévonien)	14°

Voici en outre quels sont les titres des principaux affluents de la Meuse, rangés dans l'ordre où ils se présentent de Mézières à Givet.

Ruisseau du Waridon : poudingues et schistes de Fépin (dévonien).	8°
Ruisseau de la Cachette : grauwackes de Montigny (dévonien)	4° 1/4
Ruisseau de Mordreuil : id.	2°
La Semoys à La Val-Dieu : (dévonien et silurien)	6°
Ruisseau de Roma : schistes reviniens (silurien)	2° 3/4
Ruisseau de Saint-Barnabé : id.	2°
Ruisseau de Mayrupt : id.	2° 1/4
Ruisseau de la Commune : id.	2° 1/2
Ruisseau de Saint-Nicolas : id.	3° 1/2
Ruisseau d'Alise schistes devilliens (silurien)	2°
Ruisseau de Haybes : schistes reviniens (silurien).	2° 1/4
Ruisseau du Risdou : poudingue de Fépin (dévonien)	3° 3/4

Rivière du Téroin: (dévonien)	17° 1/4
Ruisseau d'Aubrives : grauwacke de Vireux (dévonien)	12°
Ruisseau de Hierges : schistes calcaires à calcéoles (dévonien)	11° 1/2
Ruisseau du Charnois : calcaire de Givet (dévonien)	13° 3/4
Ruisseau de la Houille : (silurien et dévonien)	4° 1/2
Ruisseau de Massambre : (dévonien)	10° 1/2
Ruisseau des Quatre-Cheminées (dévonien)	17°

Le terrain silurien est formé de schistes et de quartzites ; c'est ce qui explique la pureté presque absolue de l'eau des ruisseaux qui y prennent naissance. Les ruisseaux du terrain dévonien, qui contient à différents niveaux de grandes masses de calcaire, sont au contraire beaucoup plus chargés de matières minérales ; mais là encore, le titre varie avec le niveau auquel le cours d'eau prend sa source.

La Meuse traverse, jusqu'à Charleville, des terrains calcaires ; depuis cette ville jusqu'à Vireux, elle coule sur des schistes, des quartzites, des grauwackes ou des grès appartenant aux terrains silurien et dévonien, et elle reçoit à La Val Dieu un affluent important, la Semoys, dont l'eau est pauvre en matières minérales. Aussi son titre, qui est de 18° à Mézières, s'abaisse-t-il jusqu'à 13° 3/4 à Deville, au-delà du confluent de la Semoys ; il se tient ensuite à un chiffre assez bas et ne commence à se relever qu'à la frontière belge, un peu après la traversée des schistes calcaires et des calcaires de Givet.

§ 5. — Minerais.

Minerai de fer de Differdange. — Échantillon de minerai de fer exploité à Differdange, dans le grand duché de Luxembourg, envoyé par M. Jules Friquet, maître de forges.

Eau	12,70
Argile, sable et silice	24,40
Alumine	6,64
Peroxyde de fer	56,00
Oxyde de manganèse	0,10
Pertes et matières non dosées	0,16
	100,00
Fer métallique	39,20

On a constaté de faibles traces de soufre, mais pas de phosphore.

Ce minerai, qui remplit des poches creusées dans l'oolithe inférieure, appartient à la formation sidérolithique. Il est assez riche, d'excellente qualité, et rentre dans la classe du minerai dit *de fer fort* ; on le traite au haut-fourneau au bois de Buret (Meurthe et Moselle) qui fournit des fontes de qualité exceptionnelle, destinées à la fabrication des tôles.

§ 6. — Combustibles.

1° *Tourbes de La Bar.* —La tourbe forme à l'origine de la vallée de La Bar, dans le canton de Buzaney (Ardennes), un gisement important dont la puissance varie de 0m30 à 3 mètres. Trois échantillons ont été recueillis dans la partie moyenne du gisement, où l'épaisseur est de 2 mètres ; le N° 1 à la surface du sol, le N° 2 à un mètre, le N° 3 à 2 mètres de profondeur ; ils ont donné les résultats suivants :

	1	2	3
Eau	19,00	17,50	19,50
Matières volatiles........	48,60	52,90	43,20
Charbon................	22,65	23,90	25,55
Cendres................	9,75	5,70	11,75
	100,00	100,00	100,00
Densité..........	1,31	1,12	1,40

Autres échantillons pris dans les mêmes conditions, en un autre point, où l'épaisseur est un peu moins forte.

	1	2	3
Eau	18,00	17,85	8,75
Matières volatiles.........	47,16	51,33	19,75
Charbon	16,87	23,07	7,70
Cendres.................	17,97	7,75	63,80
	100,00	100,00	100,00
Densité..........	1,89	1,11	1,82

En chauffant, dans un creuset fermé, la tourbe avec de la

litharge, nous avons déterminé en outre le pouvoir calorifique de ces trois échantillons.

Cette expérience nous a donné, pour 1 gramme de matière, des culots de plomb pesant :

1	2	3
9 gr., 87	12 gr., 51	4 gr., 29

ce qui donne pour le carbone correspondant

0 gr., 293	0 gr., 338	0 gr., 115

d'où l'on déduit pour le carbone équivalent aux matières volatiles

0 gr., 124	0 gr., 107	0 gr., 358

Si l'on observe que 1 kilogramme de carbone peut dégager 7.815 calories, on voit que ces trois espèces de tourbes sont susceptibles de produire, par kilogramme :

2.290	2.641	900 calories.

La tourbe de la Bar, prise vers le milieu de son épaisseur, constitue donc un combustible de bonne qualité. Les cendres y sont en effet en proportion relativement faible, et l'on peut obtenir, avec 2 1/2 kilogr. de cette tourbe, le même effet qu'avec 1 kilogr. de houille ordinaire, dont le pouvoir calorifique est de 6 à 7.000 calories.

2° *Cokes belges.*— Echantillons envoyés par M. Boutmy, maître de forges à Messempré-Carignan, pour être essayés au point de vue de la teneur en cendres et en soufre.

	Marihaye	Chevallières
Cendres	9,35	5,60 p. 100
Soufre	0,18	0,04

Pour doser le soufre, nous l'avons transformé en acide sulfurique, en attaquant 5 grammes de coke porphyrisé par l'acide

azotique bouillant, dans lequel nous avons projeté de temps en temps de petits fragments de chlorate de potasse.

§ 7. — Divers.

1° *Fontes de Longwy*. — Echantillons de fontes de Longwy, destinées à la fabrication du fer, remis au laboratoire par MM. Regnault frères, maîtres de forges à La Val Dieu (Ardennes). Ces fontes contiennent, sur 100 parties :

	fonte blanche	fonte truitée	fonte grise
Silicium	1,240	1,050	0,952
Soufre.......... ...	0,046	0,027	0.016
Phosphore...........	0,252	0,005	0,160

La fonte grise est recouverte, dans ses cavités, d'un enduit jaunâtre brillant, produit par une oxydation superficielle, qui avait fait croire à la présence du cuivre. A part la fonte truitée, ces fontes sont, comme on voit, assez phosphoreuses.

2° *Soudes pour la verrerie*. — Nous avons analysé deux échantillons de sels de soude employés à la verrerie de Charleville, provenant : le premier de Corbehem, le second de Haubourdin. Ces soudes, fabriquées avec des mélasses de betteraves, étaient garanties par les vendeurs comme étant de bonne qualité, et devaient titrer 88 à 90° à l'alcalimètre de Decroizilles. Nous avons obtenu les résultats suivants, pour 100 parties :

	1	2
Eau hygrométrique	0,52	4,92
Matières insolubles dans l'eau (poussières et un peu de charbon)................	0,12	0,34
Chlore...............................	1,10	7,61
Chlorure de sodium correspondant	1,85	12,80
Acide sulfurique	0,29	1,37
Sulfate de soude correspondant..........	0.51	2,43
Titre alcalimétrique	90°,8	73°,7
Titre rapporté à la matière sèche	91°,2	77°,5

Nous nous sommes assuré, à l'aide de l'acide tartrique, que ces soudes contiennent de la potasse; aussi c'est à dessein que nous

avons employé le mot *correspondant* à la suite des mots *chlorure de de sodium* et *sulfate de soude*, dans le tableau ci-dessus, car une partie du chlore et de l'acide sulfurique peut être combinée à la potasse.

La soude N° 1 remplit bien les conditions indiquées. La soude N° 2, au contraire, a un titre notablement inférieur à celui qui a été garanti et elle contient des proportions élevées de chlorure et de sulfate. Aussi a-t-elle occasionné dans la fabrication des désordres graves consistant surtout dans la destruction rapide des creusets et des plateaux, et dans une teinte vert-brunâtre du verre. Le *fiel de verre,* qui se formait en grande quantité, présente la composition suivante, pour 100 parties :

Matières insolubles dans l'eau.......	0,90
Acide sulfurique..................	25,11
Sulfate de soude correspondant	44.60
Chlore	29,15
Chlorure de sodium correspondant...	49,05

Il est facile d'expliquer les désordres constatés. Le chlorure de sodium n'a pas d'inconvénient sérieux ; une partie de ce sel en effet se volatilise, et le reste contribue à la formation du fiel de verre, sans exercer d'action sur les parois des creusets. Il n'en est pas de même des sulfates, qui, quand ils sont en quantité notable, corrodent les creusets avec une rapidité d'autant plus grande que ces appareils ont une composition plus maigre, c'est-à-dire contiennent plus de ciment et moins d'argile ; or, c'est précisément la condition que l'on cherche à réaliser à Charleville, parce que les creusets de cette espèce résistent à une plus haute température que ceux qui ont une composition grasse.

Quant à la teinte vert-brunâtre du verre, elle doit être attribuée également au sulfate de soude. Ce sel, qui ne se décompose, sous l'influence de la silice, qu'à une température élevée, peut rester en quantités plus ou moins grandes dans la masse en fusion, et l'on sait que des traces suffisent pour diminuer la transparence du verre. Pour combattre cet effet, il eût fallu ajouter un peu de charbon au mélange destiné à être fondu.

3° *Engrais.*

	1	2	3	4
Eau hygrométrique............	8,30	5,50	9,50	71,70
Matières volatiles	29,85	31,70	28,10	
Sable et argile	5,90	15,50	4,00	8,65
Acide phosphor. soluble dans l'eau	9,82	7,06	»	»
Id. rétrogradé	1,76	1,20	»	»
Id. insoluble	3,20	6,71	4,65	1,02
Acide sulfurique	17,56	19,88	20,75	1,74
Chaux, magnésie, oxyde de fer alumine	23,61	12,45	33,00	16,89
	100,00	100,00	100,00	100,00

Les matières volatiles contiennent :

Azote organique................	2,19	1,86	4,07	2,31
Azote à l'état ammoniacal.......	1,79	1,06	0,13	0,89
Total........	3,98	2,92	4,20	3,20

Ces chiffres nous permettent d'apprécier la valeur vénale des engrais :

	1	2	3	4
Acide phosphorique soluble à 1 f. 25 le kil.	12,27	8,82	»	»
Id. rétrogradé à 0,80.....	1,41	0,96	»	»
Id. insoluble à 0,25.....	0,80	1,68	1,16	0,25
Azote organique à 2 fr. 50...........	5,47	4,65	10,18	5,77
Id. ammoniacal à 3 fr.............	5,37	3,18	0,39	2,67
Valeur des 100 kilogr.	25fr.32	19fr.29	11fr.73	8fr.69

1° Phosphô-guano vendu par M. Mathy-Henri, marchand d'engrais à Poix.

2° Phospho-guano de la Compagnie française E. Well. Teneur garantie de 13,75 p. 100 d'acide phosphorique assimilable et 2 1/2 p. 100 d'azote. Comme nous n'avons trouvé que 8,26 p. 100 d'acide phosphorique assimilable (acide soluble et acide

rétrogradé) les conditions du marché ne sont pas remplies. L'azote est au contraire en proportion supérieure.

3° Échantillon d'engrais artificiel envoyé par le Comice agricole de Sedan.

4° Échantillon d'engrais artificiel envoyé par M. Antoine, cultivateur à Charleville.

VI. — LABORATOIRE DE TROYES.

Travaux de M. PESTELARD, garde-mines principal. (EXTRAIT).

---

§ 1. — ENGRAIS.

Phospho-guano, provenant de la maison E. Well et Cie, envoyé par M. Bruley, propriétaire à Rigny-le-Ferrou, qui demande la composition de cet engrais et sa valeur relative.

Eau hygrométrique	21,00
Matières organiques et volatiles..........	20,50 (azote 2,15).
Acide phosphorique, soluble dans le citrate d'ammoniaque	7,00
Acide phosphorique soluble dans les acides.	3,60
Sable et argile........................	4,50
Sulfate de chaux, matières diverses.......	43,40
	100,00

On s'est assuré, par un essai qualifitatif, que cet engrais ne renfermait pas de nitrates, ni de sels ammoniacaux, et que l'azote provenait des matières organiques seulement.

La valeur approximative de cet engrais pourrait donc être calculée comme suit :

	fr.
Azote 2k.15 à 2 fr. 50 = ...	5,37
Acide phosphorique soluble 7k à 1 fr. =......	7,00
Acide phosphorique insoluble, 3k 60 à 0 fr. 40=	1,44
Valeur totale de l'engrais pour 100 Kil=...	13,81

§ 2. — PAIN.

1° *Échantillon de pain* envoyé par M. le Préfet de l'Aube, qui demande la nature des substances qui sont entrées dans sa fabrication.

Ce pain a été fabriqué avec un mélange de farines de blé, de seigle et d'orge ; il paraît renfermer une grande quantité de son. L'observation faite au microscope pour reconnaître la proportion des substances entrées dans le mélange, n'offre pas de certitude, en raison de la déformation des granules d'amidon pendant la cuisson.

L'analyse a donné, pour 100 parties :

Eau hygrométrique	43,00
Matières minérales	1.00
Azote	0,89

La faible quantité de cendres provenant de l'incinération de ce pain ne permet pas de supposer qu'on y ait introduit des matières minérales étrangères. La quantité d'azote qu'il renferme est à peu près la même que celle des pains de troisième qualité.

2° *Quatre échantillons de pain* envoyés par M. le Préfet de l'Aube, et provenant des colonies pénitentiaires de Bar-sur-Aube, Voigny, Fontaines et Arrentières.

Un échantillon de la farine servant à la fabrication du pain de la colonie de Voigny.

Les résultats de l'examen se résument comme suit :

Les pains des colonies pénitentiaires de Bar-sur-Aube et de Fontaines sont fabriqués avec un mélange de farines de seigle, de blé et d'orge ; ils ne renferment pas de matières minérales

étrangères, n'ont rien de désagréable au goût et sont relativement de bonne confection et de bonne qualité.

Le pain de la colonie d'Arrentières est de moins bonne qualité; il paraît être fabriqué avec des farines moins bien blutées. Les cendres provenant de l'incinération n'ont point laissé supposer qu'il y eût eu introduction de matières minérales.

Le pain de la colonie de Voigny a un goût et une odeur désagréables; il paraît fabriqué avec un mélange de farines avariées. Placé dans une des salles du laboratoire dans les mêmes conditions que les pains des autres colonies, de nombreuses moisissures se sont développées à sa surface dès le quatrième jour, tandis que rien de semblable ne se produisait dans les pains provenant des autres colonies. Cette altération spontanée est un indice certain de la mauvaise qualité des farines qui ont servi à sa fabrication.

Voici le résultat de l'examen de l'échantillon de farine:

Eau hygrométrique. — Par une dessiccation à 100 degrés, on a trouvé qu'elle renfermait 15 pour 100 d'eau.

Issues. — Par un blutage au tamis de soie, on a retiré 25 pour 100 d'issues, parmi lesquelles on trouve une quantité notable de pellicules noires indiquant que la farine provient de graines non criblées.

Matières minérales. — Par incinération, on a trouvé 1,20 pour 100 de cendres, ce qui n'a rien d'anormal, vu la nature de la farine.

Gluten. — Nous avons essayé, à différentes reprises, d'isoler le gluten de cette farine, mais, après chaque opération, il ne restait entre nos mains que quelques grumeaux sans liaison, indice certain que le gluten était en quantité peu appréciable, et que, de plus, il était altéré, et c'est à cette cause qu'il faut attribuer les moisissures qui se sont subitement développées à la surface et à l'intérieur du pain fabriqué avec cette farine.

Faculté nutritive. — On admet généralement que la valeur

nutritive du pain est en raison directe de la quantité et de la qualité du gluten contenu dans la farine qui a servi à sa fabrication; d'où il résulte :

1° Que le pain de la colonie de Voigny, fabriqué avec un mélange de farines qui ne renferment qu'une très faible quantité de gluten altéré, est impropre à la nourriture de l'homme.

2° Que l'absorption par les organes digestifs des moisissures ou sporules de champignons qui se sont développés subitement dans ce pain, peut donner lieu à de graves accidents.

§ 3. — EAUX.

Deux échantillons d'eau envoyés par M. le directeur de la fabrique de blanc du domaine de Vaudepart, commune de Villeloup, qui demande la quantité de sels calcaires qu'elles renferment.

Échantillon N° 1. — Eau de puits naturelle, degré hydrotimétrique 18° :

Carbonate de chaux	0 gr., 172	par litre.
Sels autres que le carbonate...........	0 gr., 013	—
Total des sels......	0 gr., 185	par litre.

Échantillon N° 2. — Eau de puits ayant servi au lavage de la craie, degré hydrotimétrique 20° :

Carbonate de chaux.........................	0 gr., 195	par litre.
Sels divers autres que le carbonate de chaux...	0 gr., 012	—
Total des sels............	0 gr., 207	

Il résulte de ces essais que l'eau qui a servi au lavage de la craie n'a conservé en dissolution qu'une très faible quantité de carbonate de chaux en plus de ce qu'elle renfermait à l'état naturel, et qu'elle peut être parfaitement employée à l'alimentation des chaudières à vapeur qui fonctionnent dans cette usine.

BULLETIN

DES ACCIDENTS ARRIVÉS DANS L'EMPLOI DES APPAREILS A VAPEUR

PENDANT L'ANNÉE 1879

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
9 janvier..	Savonnerie à Marseille.	Chaudière cylindrique. Longueur 8m,00; Diamètre 1m,00; épaisseur 0m,010; timbre 4k.,5.	La tôle du coup de feu s'est fendue suivant une génératrice sur une longueur de 2 m. à partir du fond antérieur. Il y a eu étirage de la matière avant la rupture.— Surcharge des soupapes correspondant à une surpression de 0 k.,9.	Quelques dégâts matériels sans importance.	Manque d'eau. Le métal a rougi au coup de feu et s'est déchiré sous la pression ordinaire.
16 janvier..	Battage de grains à Saint-Martin-Bréténcourt (Seine-et-Oise).	Chaudière cylindrique, horizontale, de 2m,06 de longueur et 0m,86 de diamètre; foyer intérieur terminé par une boîte à fumée d'où partent dix tubes de retour de flamme en laiton qui s'engagent dans la plaque tubulaire antérieure (système amovible). Les tubes ont 6 centimètres de diamètre et 2 millimètres d'épaisseur. Epreuve en août 1873. Timbre 6 k., 5.	Un des tubes s'est ouvert sur 19 centimètres de longueur près de la boîte à fumée. Deux autres tubes ont été aplatis. Le ciel du foyer présente une dépression.	Un ouvrier brûlé au visage.	L'alimentation a été remise en train alors que le niveau de l'eau s'était abaissé au-dessous des tubes supérieurs et du ciel du foyer. Le laiton des tubes, étant surchauffé, n'a pu résister à la pression.
20 janvier..	Fabrique d'engrais à St-Denis (Seine).	Récipient cylindrique en tôle tournant. Diamètre 1m,10; longueur 4m,50; épaisseur 0m,011. En communication avec un générateur timbré à 6 k. Il sert à cuire à 150° des chiffons de laine et de coton. Sur l'un des fonds est un couvercle reposant	On avait réglé l'appareil à vide. Le jour de l'accident on commença l'opération et on fit le joint sans pression avec une clé de 0,30 passée dans l'œil des vis. Une fois en pression l'ouvrier serra le joint ; le propriétaire recommanda de ne plus le	Deux ouvriers brûlés, dont l'un mortellement.	Emploi d'un appareil sous une pression élevée à laquelle il ne pouvait résister. Ce récipient, construit autrefois pour fonctionner à l'air libre, a été soumis à une pression de 4 k. pouvant même s'élever à 6 k., sans aucune précaution, sans épreuve préa-

		par une collerette en fonte sur une collerette en fonte du cylindre; entre les deux est un joint en caoutchouc. 17 serre-joints en forme de C.	faire. Quelques instants avant l'accident, on vit l'ouvrier se disposant à serrer une vis avec une clé de 0,60. La collerette en fonte du cylindre a été brisée sur les 5/6 de sa circonférence, savoir sur 1/6 suivant la ligne de rivure avec le cylindre, sur 4/6 suivant la rainure du joint où l'épaisseur de la fonte n'était que de 15 millimètres. — Couvercle intact, sauf deux fêlures par chocs résultant de l'accident.		lable. Imprudence d'un ouvrier dans la manœuvre; mais imprudence beaucoup plus grande du propriétaire qui a soumis à de grandes pressions un appareil incapable de les supporter.
23 février ..	Teinturerie à Reims.	Chaudière composée d'un cylindre horizontal de $6^m,32$ de longueur et $2^m,03$ de diamètre, terminé par des plaques tubulaires portant 28 tubes disposés sur trois rangées. Ces tubes sont en laiton de 3 m/m d'épaisseur; ils ont 11 centimètres de diamètre. Trois bouilleurs inférieurs, deux réchauffeurs latéraux et un réservoir de vapeur. Volume 29 mètres cubes. Surface de chauffe 146 mètres carrés. Timbre 6 k., 5. Les fonds portaient des armatures ou nervures destinées à les rendre rigides.	A une pression ne dépassant pas 4 k., 75, la vapeur fit irruption : le deuxième tube à gauche de la deuxième rangée s'était rompu nettement. Six autres tubes fortement aplatis.	Un chauffeur mort des suites de ses brûlures; un autre brûlé par la vapeur.	Cause restée inconnue.
26 mars....	Ateliers du chemin de fer d'Orléans, à Orléans.	Chaudière d'une ancienne locomotive employée comme chaudière fixe, d'origine anglaise (1843). Section elliptique: $0^m,917$ pour le diamètre horizontal et $0^m,961$ pour le diamètre vertical. Longueur $3^m,565$. Quatre tirants transversaux fixés à des oreilles rivées sur les feuilles de tôle supérieures, et placés au quart supérieur de l'axe vertical, immédiatement au-dessus des tubes. Timbre 7 atmosphères.	Le chauffeur venait d'alimenter, ce qui avait fait tomber la pression à 5 k. — Peu après la tôle du corps cylindrique se développa entièrement en se déchirant le long de deux génératrices, les tubes s'écartèrent et se rompirent. La déchirure de la de la tôle le long de la génératrice voisine des tirants transversaux était rectiligne et avait suivi le bord du recouvrement des deux feuilles; sur presque toute sa longueur on reconnaissait du côté intérieur l'existence	Dégâts matériels insignifiants.	La cause déterminante a été un premier sillon formé par le matage d'un joint le long d'une génératrice; de plus les tirants transversaux qui défendaient le cylindre contre les déformations étaient placés à la hauteur de cette génératrice, il en est résulté autour de cette section rendue immobile un mouvement de charnière qui a déterminé l'augmentation de la fissure commencée par le matage; enfin les tôles étaient de qualité médiocre et cintrées transversalement.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
			d'une fente ancienne de 2 ou 3 millimètres de profondeur, remplie d'oxyde noir; elle atteignait jusqu'à 3 1/2 millimètres en quelques points.		
29 mars ...	Battage de grains à Thaon (Calvados).	Chaudière cylindrique, verticale, à foyer intérieur. Hauteur 1m,80 ; diamètre 0m,85. Foyer traversé par deux bouilleurs horizontaux. Les deux fonds supérieurs sont reliés par une cheminée (tube soudé de 0m,22) placée excentriquement ; la partie inférieure de la cheminée est forgée en forme de bride et rivée au ciel du foyer. Construite en 1872, éprouvée de de nouveau en 1876.	La bride, soumise à des efforts très inégaux et à des flexions répétées, s'est fendue à l'angle de raccordement en s'ouvrant complètement.	Une personne légèrement brûlée. Incendie d'une grange.	Construction défectueuse de la chaudière.
20 avril....	Bateau *l'Abeille N° 2*, à Dunkerque.	Chaudière tubulaire. Tubes de 6 centimètres de diamètre.	Un des tubes de laiton de la rangée supérieure s'est ouvert sur 15 centimètres de longueur, le demi-cylindre supérieur était enlevé, la partie inférieure n'était pas déformée. Ce tube, qui s'est brisé sous une pression de 4 à 5 atmosphères, avait fonctionné sous vapeur la veille encore à 6 atmosphères et avait supporté la même pression pendant une tentative d'épreuve.	Chauffeur mort des suites de ses brûlures.	État d'usure d'un tube dont l'épaisseur primitivement de 2 m/m,5 avait été réduite à moins de 1 m/m. Peut-être a-t-il été surchauffé au moment de l'accident, ce qui a déterminé sa rupture sous une pression moindre que celle qu'il avait supportée la veille.
12 mai.....	Distillerie à Paris.	Chaudière cylindrique, verticale, à foyer intérieur cylindrique; les gaz chauds atteignent la cheminée par un conduit latéral terminé à chacune des surfaces verti-	Corps extérieur lancé verticalement. Le cylindre du foyer intérieur s'est écrasé en se déchirant transversalement à ses deux extrémités. La calotte formant le ciel du	Dégâts matériels importants.	Amincissement considérable de la paroi, à peu près uniformément, sur toute la surface cylindrique et particulièrement aux deux circonférences de joint avec le ciel du

		cales. Diamètre des cylindres 0m,80 et 0m,68. Construite et éprouvée en 1869. Timbre 4 k.	foyer intérieur et l'enveloppe n'ont pas subi d'altération. L'épaisseur, le long de la déchirure inférieure, varie de 3 1/2 à 4 millimètres; le long de la déchirure supérieure, elle descend en quelques endroits à 2 millimètres alors que l'épaisseur primitive était de 8 millimètres.		foyer et avec la base de la chaudière.
9 juin.....	Bateau *La Ville d'Argenteuil*, à Paris.	Chaudière cylindrique, à foyer intérieur, avec tubes de retour de flamme et dôme de vapeur. 64 tubes en laiton : diamètre intérieur 7 centimètres; épaisseur 2m/m 1/2. Dernière épreuve en août 1878. Timbre 6 k.	Rupture de 10 tubes des trois rangées supérieures, la plupart cassés à la bague du côté de la plaque tubulaire d'arrière, quelques-uns à une certaine distance, mais présentant une section aplatie et des fentes longitudinales indiquant un ramollissement préalable. — L'un des deux tubes indicateurs manquait, l'autre avait son tuyau d'eau obstrué et ne pouvait donner que des indications erronées. — Robinets de jauge encrassés.	Mécanicien mort des suites de ses brûlures.	Abaissement anormal de l'eau (appareils indicateurs de niveau hors de service). Les tubes des rangées supérieures ont été surchauffés et n'ont pas pu résister à la pression ordinaire.
17 juillet...	Chemin de fer de l'Ouest, à Caen.	Calotte en fonte du dôme d'une locomotive. Diamètre 0m,60; épaisseur 25m/m. La calotte est terminée à sa base par une collerette ou bride qui s'assemble par 26 boulons sur la cornière terminale de la partie cylindrique du dôme avec joint formé par un fil de cuivre. Dernière épreuve en 1878. Timbre 7 k. 1/2.	La cassure s'est produite au-dessus de la collerette enlevée elle-même sur une longueur de 22 centimètres. Dans la cassure on remarque une fente ancienne, de 260 millimètres de longueur et 20 millimètres de profondeur en son milieu, qu'il était difficile, peut-être impossible, de découvrir; une épreuve n'aurait sans doute pas provoqué la rupture. La calotte avec son enveloppe et les soupapes ont été projetées presque verticalement. L'accident est arrivé à la première chauffe après la réfection du joint.	Un homme tué par une planche détachée du toit de la gare.	Fente existant au-dessus de la collerette à la naissance de la partie hémisphérique du dôme en fonte et pression trop énergique des boulons d'assemblage qui tendaient à détacher la collerette sur toute sa circonférence, car la base du dôme s'appuyait sur un cercle en cuivre destiné à garnir le joint et la collerette se trouvait pressée en porte à faux.
29 juillet...	Blanchisserie à Caudebec-en-Caux (Seine-Inférieure).	Cuve cylindrique, verticale, à fonds bombés. Diamètre 2m; hauteur du corps vertical 2m,50. Le couvercle, qui	Vers le milieu d'une opération le couvercle, du poids de 1.500k. environ, a été projeté verticalement ainsi que le	Dégâts matériels assez importants.	Appareil en mauvais état et mal conduit; la couronne montrait au moins deux fissures transversales ancien-

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
		s'ouvrait en tournant autour de deux charnières horizontales, était rattaché à la cuve par un système de deux couronnes en fonte, l'une rivée au corps cylindrique, l'autre constituant le bord du couvercle dont la partie centrale était en tôle. 26 boulons à charnière, fixés à la couronne inférieure, venaient s'engager dans des encoches pratiquées aux deux couronnes et étaient maintenus en place par le serrage de leur écrou. Timbre 2 k.	coton et l'eau contenus dans l'appareil. — La couronne en fonte du couvercle brisée présentait quatre fentes radiales principales et s'était rompue suivant une partie de la circonférence de la jonction avec la tôle; celle-ci était entière, mais repliée le long d'une de ses cordes.		nes; l'appareil, éprouvé pour la pression de 2 k., était en communication avec un générateur à 6 k. et portait des soupapes chargées à 3 kil., 5.
30 juillet...	Chemin de fer de l'Est; ligne de Nancy à Vesoul.	Chaudière de locomotive datant de 1873. Enveloppe composée de quatre viroles de tôle de fer assemblées par une seule rangée horizontale de rivets, placés alternativement à droite et à gauche. Rivures circulaires simples. Timbre 8 k.	La chaudière a cédé sur le côté gauche immédiatement au-dessous de la ligne longitudinale de rivets de la virole tenant au foyer; cette virole s'est développée et rabattue sur le côté droit, la virole suivante a été déchirée diagonalement et s'est partiellement développée avec la première. — La rupture s'est faite sur la feuille inférieure suivant une génératrice rasant le bord de la feuille supérieure qui, à la jonction, est à l'intérieur de la chaudière. — La rivure est restée intacte.	Mécanicien et chauffeur brûlés à la figure et à la poitrine par la vapeur.	Défaut de la tôle de la première virole. Le métal, de très-bonne qualité dans presque toute son étendue, était défectueux à l'une des extrémités, à la jonction des deux bords opposés; il s'est formé, à l'intérieur et en dessous de la pièce, un sillon dans la région où le fer était défectueux, il s'est agrandi de manière à ne laisser au métal intact qu'une épaisseur insuffisante pour résister à la pression.
12 août....	Tissage à Rouen.	Corps cylindrique traversé par deux tubes de retour de flamme. Trois bouilleurs reliés à la chaudière chacun par deux communications	En alimentant au moment de la mise en train, un sifflement se produisit et la vapeur sortit par le foyer. Le bouilleur de droite présentait une	Aucune conséquence.	Excès de chauffage du bouilleur dont l'eau avait disparu. Une pièce de tôle, introduite dans la chaudière pour arrêter l'arrivée des boues

		placées vers l'avant. Timbre 6 k.,5.	ouverture longitudinale de 0m,80 de longueur, de petites gerçures parallèles à la grande cassure et plus loin une loupe de 0m,20 de diamètre et 0m,05 de flèche.		au coup de feu, avait été transportée par le mouvement de l'eau jusque sous le flotteur de l'indicateur qu'elle a immobilisé, et qui était seul consulté quoique la chaudière fût pourvue d'un tube indicateur en verre.
14 août....	Serrurerie à Asnières (Seine).	Chaudière horizontale, cylindrique, à deux bouilleurs. Diamètre 0m,70; longueur 3m,50. Timbre 5 atmosphères.	Il s'est formé une fente au bouilleur de gauche, suivant une génératrice voisine de la génératrice inférieure sur 1m,40 de longueur environ; deux déchirures transversales se raccordant avec les extrémités de la fente longitudinale découpaient en pleine tôle une portion trapézoïdale qui s'est ouverte à l'extérieur.	Un ouvrier légèrement brûlé. Une partie du fourneau démolie.	Affaiblissement de la tôle à la suite de coups de feu reçus dans une partie recouverte d'épaisses incrustations et et qui en même temps ne contenait vraisemblablement que très peu d'eau. La tôle surchauffée a cédé sous la pression ordinaire.
19 août....	Savonnerie à Dijon.	Chaudière horizontale cylindrique à deux bouilleurs. Diamètre 1m,00; longueur 4m,60. Timbre 5k.,5. En service depuis 1866.	Un trou de 20 décimètres carrés s'est formé brusquement au-dessous du bouilleur de gauche à 0m,80 de son extrémité postérieure. Epaisseur réduite au point le plus faible à 1 1/2 millimètre au lieu de 10 millimètres.	Le massif de maçonnerie a été détruit.	Corrosion extérieure de la tôle par les liquides acides provenant de la condensation des fumées déjà très-refroidies par leur parcours le long du corps principal et du premier bouilleur, et qui le sont plus encore au contact de la paroi d'un bouilleur qui reçoit en abondance l'eau froide d'alimentation.
20 août....	Atelier de force motrice à Paris.	Chaudière horizontale, cylindrique, à deux bouilleurs. Diamètre 1m,00; longueur 6m,05. Timbre 6 k.	Le bouilleur de droite s'est ouvert au coup de feu, suivant une courbe en pleine tôle; cette partie s'est repliée en dehors, laissant béante une ouverture d'environ 1m,00 de longueur et 0m,50 de largeur maxima.	Deux personnes atteintes par la vapeur; l'une d'elle est morte des suites de ses brûlures. Devant du fourneau démoli, ainsi que l'escalier et une partie de la toiture.	Manque d'eau. La tôle a rougi et s'est déchirée sous la pression ordinaire. (Le tube indicateur n'avait pas été consulté et le flotteur avait à sa tige une inflexion qui, en s'abaissant, butait sur le bord du conduit vertical et retenait le flotteur suspendu en l'empêchant de suivre le niveau de l'eau quand il baissait).
25 août....	Battage de grains à Lignières (Indre-et-Loire).	Chaudière de locomobile. Corps cylindrique vertical de 0m,78 de diamètre sur 1m,05 de hauteur, et corps horizontal de 0m,60 de dia-	L'enveloppe extérieure de la partie verticale s'est brisée en sept ou huit morceaux, le dôme, arraché sous forme d'une calotte au-dessus des	Mécanicien et sa femme tués; le fermier et son fils écrasés sous les décombres d'un bâtiment effondré. Cinq autres	Amincissement d'une partie des tôles et pression probablement supérieure à la pression normale acquise pendant un chômage de

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
		mètre et 2m de longueur avec 20 tubes. Timbre 6k.,5.	rivets, a été projeté à 150 m.; corps horizontal ouvert à la partie supérieure brisée en plusieurs morceaux. L'explosion s'est produite à la reprise du travail.	personnes grièvement blessées ou brûlées.	deux heures alors que les soupapes étaient peut-être surchargées ou calées. On peut aussi se demander si l'eau n'avait pas atteint une température plus élevée que celle qui correspondait à la pression de vapeur et si cet équilibre instable ayant été rompu à la reprise du travail, il n'y a pas eu un développement instantané de vapeur produisant les effets très-énergiques qui ont été constatés.
27 août	Battage de grains à Bagé-la-Ville (Ain).	Chaudière de machine locomobile. Capacité 593 litres. Timbre 6 atmosphères.	Les débris n'ont pas permis de reconnaître d'une manière précise dans quelles circonstances cet accident s'est produit. L'explosion a eu lieu quelques instants après que le chauffeur avait vidé un seau d'eau dans le réservoir.	Deux personnes tuées, cinq autres blessées.	Certains faits pourraient faire supposer que l'alimentation était en défaut, que les tôles ont rougi et que l'explosion s'est produite au moment où l'alimentation était reprise.
30 août	Scierie à Onesse (Landes).	Chaudière mi-fixe forme locomobile. Un corps horizontal de 3m de longueur et 0m,90 de diamètre. Boîte à feu de 2m,06 de hauteur et 1m,00 de diamètre. Foyer intérieur. 35 tubes en cuivre. Construite en 1872; éprouvée de nouveau en 1876. Timbre 6k.,198.	Au repos, explosion avec un bruit formidable. Chaudière lancée à 79 m. de distance. Le ciel du foyer s'est détaché en se déchirant suivant l'arête d'intersection avec la partie cylindrique, un peu au-dessus de la ligne des rivets.	Un homme tué, quatre autres blessés.	Corrosion du ciel du foyer dont l'épaisseur (primitivement de 10 millimètres) s'est amincie jusqu'à 5 et même 3 millimètres.
5 septembre	Bateau à vapeur *La France* sur la Gironde.	Chaudière composée de trois corps cylindriques reliés entre eux et ayant un réservoir horizontal cylindrique de vapeur commun. Longueur [illegible] diamètre [illegible]	Le corps du milieu a chauffé jusqu'à l'incandescence le long de la génératrice la plus basse; la paroi a commencé par se dilater jusqu'à produire un boursouflement	Mécanicien et deux chauffeurs tués; cinq voyageurs et deux chauffeurs blessés plus ou moins grièvement.	Présence de dépôts abondants qui, constituant une couche non conductrice, ont laissé la tôle arriver au rouge, se ramollir et se déchirer sous une pression de vapeur très-

		seur 11 à 12 millimètres. Chaque corps contient 98 tubes calorifères de 85 millimètres de diamètre et 3 millimètres d'épaisseur. Timbre 3k. Remise à neuf en 1877, réépreuvée en 1878.	énorme, puis elle s'est déchirée. Fente ovale à bouts aigus — longueur, $2^m,10$, largeur maxima, $0^m,45$ — donnant issue à l'eau bouillante. — La déchirure s'est produite sans grande violence; on n'a ressenti sur le pont qu'un faible choc de fond.		modérée.
17 septembre	Battage de grains à Manneville (Seine-Inférieure).	Chaudière de locomobile. Corps cylindrique horizontal tubulaire. Boîte à feu cylindrique, verticale, avec foyer cylindrique. Foyer construit et éprouvé en 1870. Timbre 5k.	Un quart d'heure après la fin du travail, le ciel du foyer s'est déchiré sur tout son pourtour, le long de la ligne de courbure de la tôle qui avait été emboutie pour se raccorder avec la partie cylindrique du foyer, présentant sa concavité à la pression supérieure. Le ciel a traversé le foyer et brisé la grille.	Aucune conséquence.	Mauvaise qualité de la tôle qui présentait des gerçures anciennes. Les fentes se sont agrandies par l'usage et la chaudière s'est rompue sous la pression ordinaire.
10 octobre..	Bateau *Parisien* N° 2. Lac du Bourget.	Chaudière à foyer intérieur. Dans le foyer est disposé un appareil fumivore tubulaire composé de deux tubes en tôle de fer de $0^m,175$ de diamètre reliés par 10 tubes de $0^m,018$ de diamètre constituant une sorte de grille que les flammes doivent traverser.	Le tube collecteur du haut s'est fendu à l'une de ses extrémités et le tampon qui le fermait a été projeté dans le foyer.	Mécanicien et chauffeur plus ou moins brûlés.	Disposition défectueuse du système formé de tubes placés au fond du foyer intérieur exposés à un coup de feu permanent et ne laissant pas l'eau circuler assez facilement.
14 octobre.	Moulin à Saint-Bonnet-de-Cray (Saône-et-Loire).	Chaudière cylindrique, horizontale, à foyer intérieur. Diamètres $1^m,15$ et $0^m,56$; longueur $4^m,00$. Éprouvée en 1878. Timbre 5k. Soupapes chargées pour une pression de 6k.,8.	Le foyer intérieur s'est écrasé sur presque toute sa longueur; il présente plusieurs déchirures notamment dans le voisinage du fond arrière dont il était arraché sur plus de la moitié de sa circonférence.	Une personne tuée par les matériaux projetés. Mur du bâtiment renversé.	Excès de pression, 7 k. au lieu de 5 k. pression du timbre. L'épaisseur était déjà trop faible pour la pression du timbre. Appareil livré par le constructeur avec des soupapes surchargées.
18 octobre.	Locomotive routière à Voutré (Mayenne).	Chaudière tubulaire. Corps cylindrique horizontal de $0^m,68$ de diamètre. Boîte à feu cylindrique, verticale, de $0^m,80$ de diamètre. 50 tubes en fer de $0^m,04$ de diamètre intérieur avec bouts en cuivre forgé du côté de la plaque tubulaire. Timbre 7k. Dernière épreuve en 1879.	La machine venait de descendre une pente assez forte et était arrêtée sur un palier. — Explosion avec bruit intense. Enveloppe cylindrique en morceaux; dôme de la boîte à feu lancé à 200 m. — Le foyer seul est resté en place.	Mécanicien tué; deux personnes blessées.	Imprudence du mécanicien qui a serré à fond les ressorts des soupapes. Le métal n'a pu résister à la pression qui a atteint 12 k. et les a même dépassés d'une quantité qui ne saurait être précisée.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
17 octobre.	Sucrerie à Aiserey (Côte-d'Or).	Chaudière horizontale, cylindrique, avec deux bouilleurs et un réchauffeur.	Le réchauffeur d'une des chaudières se fendit sur $0^m,60$ de longueur, suivant la génératrice inférieure, au-dessous de l'orifice d'alimentation. Presque aussitôt et très probablement sous l'influence de ces mouvements, le réchauffeur de la chaudière voisine se déchira sur $0^m,80$ de longueur. Tôle dont l'épaisseur était réduite à 3 millimètres, au lieu de 8, par une corrosion extérieure régulière s'étendant sur environ 2 m. de longueur, à partir de l'extrémité postérieure de chaque réchauffeur.	Une partie du massif brisée.	Les réchauffeurs se sont fendus sous la pression ordinaire, parce que la tôle était profondément corrodée à la partie inférieure de l'extrémité la plus froide des réchauffeurs. En cet endroit, les vapeurs sulfureuses acides contenues dans les les gaz de la combustion avaient pu se condenser et exercer sur le fer leur action destructive.
20 octobre.	Mélange de mortier à St-Nazaire.	Chaudière cylindrique, verticale, de $1^m,10$ de diamètre et $1^m,50$ de hauteur, avec foyer intérieur étroit portant une boîte à fumée en forme de champignon d'où les gaz descendent par 12 tubes verticaux dans un carneau circulaire inférieur et enfin gagnent la cheminée. Timbre 4 k. Une seule soupape de sûreté.	Le fond supérieur s'est déchiré suivant la circonférence de raccordement avec la partie cylindrique, les tirants ont cédé après avoir déprimé le fond d'environ 5 centimètres autour de leurs écrous. Le corps cylindrique s'est séparé de sa base, suivant la ligne de rivure ; dans cette partie la tôle n'avait plus que 4 millimètres ; enfin il a été ouvert longitudinalement suivant deux génératrices opposées. Le fond supérieur et la moitié du corps cylindrique ont été lancés à 50 mètres.	Un homme tué, trois autres blessés.	Surcharge de la soupape unique, qui était ficelée. (Un certain temps avant l'explosion, on a lu sur le manomètre l'indication de 7 k.)
30 octobre.	Bateau *Parisien* N° 4 à Arciat.	Chaudière tubulaire. Un des tubes n'était pas d'une seule pièce, mais relié par une [illegible]	Le tube dont il est question ci-contre s'est rompu à la soudure du raccordement.	Un chauffeur mort de ses brûlures. Un mécanicien et un chauffeur brûlés par la vapeur.	L'accident n'a pas une cause bien déterminée. Le tube avait une épaisseur insuffisante, une de ses [illegible]

					tés était formée d'un raccord soudé; il s'est aplati et rompu, mais on ne saurait dire si cette déformation provient de la pression seule ou de la pression aidée du surchauffage du tube en un moment où il n'était plus baigné par l'eau.
30 octobre..	Bains à Lyon.	Chaudière horizontale, cylindrique, à foyer intérieur. Longueur $2^m,50$; diamètre de l'enveloppe extérieure $1^m,10$ et du foyer intérieur $0^m,60$. Eprouvée en juillet 1870 pour la pression de 4 k.	La chaudière s'est déchirée tout le long de la partie inférieure; la tôle, en se redressant, s'est arrachée sur plus de la moitié de sa jonction avec les faces d'avant et d'arrière; elle a été lancée en avant à 15 m. environ sur une toiture. — On avait arrêté une fuite quelques jours auparavant.	Trois personnes blessées ou brûlées peu grièvement. — Toiture effondrée.	La chaudière présentait à la jonction de l'enveloppe et du fond arrière des fuites qui sont restées inaperçues; l'eau a rongé la tôle dans cette région et, en se répandant entre la chaudière et le mur qui la soutenait, a corrodé le métal jusqu'à le réduire à un millimètre d'épaisseur en certains endroits; ces ravages sont restés inaperçus jusqu'au moment de l'explosion.
10 novembre	Battage de grains à Villiers-Saint-Georges (Seine-et-Marne).	Chaudière locomobile. Timbre 7 k. L'une des soupapes complètement calée; l'autre entourée de chanvre, mais pouvant se soulever légèrement malgré la présence d'un coin.	La machine était arrêtée. Deux fuites se sont produites, puis la chaudière fut brisée en morceaux.	Chauffeur tué; deux ouvriers blessés.	Calage des soupapes, qui a permis à la pression de monter d'une manière excessive.
18 novembre	Papeterie aux Vaux de Vire. Commune de Saint-Germain de Tallevende (Calvados).	Cylindre en tôle de $1^m,78$ de diamètre et $3^m,55$ de longueur, avec fonds légèrement bombés. L'appareil date de 1861 et a été éprouvé à la construction pour la pression de trois atmosphères absolues. Il tourne sur deux tourillons fixés au centre des fonds. Vitesse trois tours à la minute.	Un des fonds a été projeté. La partie cylindrique s'est déchirée suivant une circonférence, en partie le long de la ligne de rivure, en partie au ras de la cornière. La rupture a eu lieu sous une pression qui n'était peut-être pas supérieure à 4 k., pression qui, dans les conditions ordinaires, n'était pas excessive, mais qui pouvait dépasser la résistance d'un métal affaibli par des flexions en sens contraires incessamment renouvelées.	Un ouvrier tué; deux autres blessés mortellement; un autre brûlé.	Fatigue de la tôle de la partie cylindrique à sa jonction avec la cornière portant un des fonds.
1er décembre	Sucrerie à Nogent-sous-Coucy-le-Château (Aisne.)	Générateur cylindrique à deux bouilleurs. Diamètre $1^m,10$; longueur $10^m,40$. Quatre	Le bouilleur de droite présente dans la tôle du coup de feu, près de l'arête inférieure,	Quatre ouvriers brûlés, dont deux sont morts des suites de leurs brûlures.	Manque d'eau. — Le métal s'est fendu sous l'action du feu. La pierre constituant

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
		communications basses de $0^m,16$ sur $0^m,09$. Pas de tube indicateur en verre. Construit en 1854. Timbre 5 atmosphères.	une déchirure longitudinale de $1^m,90$ sur $0^m,25$ d'ouverture; l'épaisseur primitive n'était pas diminuée.		le flotteur d'un des indicateurs s'était désagrégée et, devenue trop légère, elle était maintenue toujours au plus haut par l'action du contre-poids.
5 décembre.	Savonnerie à Marseille.	Chaudière horizontale, cylindrique, à deux corps de $0^m,90$ de diamètre réunis à l'arrière par un cuissard de $0^m,50$ de diamètre. Le foyer est à la partie antérieure de l'un des corps qui fait l'office de bouilleur. Trois chaudières pareilles. Construite en 1860. Timbre 5 atmosphères.	Le cylindre bouilleur de l'une des chaudières s'est fendu longitudinalement sur 2 m. de longueur.	Un ouvrier brûlé mortellement. Massif du fourneau bouleversé.	Manque d'eau. — La chaudière est restée longtemps sans alimentation ou s'est vidée dans la chaudière voisine par les conduits d'alimentation; la tôle a été surchauffée et a pu céder sous la pression ordinaire, un peu après que l'alimentation avait été remise en jeu.
18 décembre.	Filature à Nouvion-en-Thiérache (Aisne).	Chaudière cylindrique, horizontale, à deux bouilleurs. Diamètre $1^m,20$; longueur $6^m,25$. Pas de tube indicateur. Installée en 1866. Timbre 5 1/2 atmosphères.	Le bouilleur de gauche s'est déchiré à la deuxième virole; déchirure irrégulière de $1^m,10$ sur $0^m,25$.	Une personne tuée; deux ouvriers blessés. Dégâts matériels insignifiants.	Absence presque totale d'eau.
18 décembre.	Fabrique de pâtes alimentaires à Saint-Denis (Seine).	Corps cylindrique de $3^m,70$ de longueur et $0^m,95$ de diamètre contenant 32 tubes en fer. Dôme de $0^m,80$ de hauteur sur $0^m,90$ de diamètre. Timbre 6 k. Construit en 1872.	Il s'est fait au corps cylindrique une ouverture de $0^m,97$ de longueur sur $0^m,18$ de largeur au milieu. La cassure commençait à $0^m,25$ de la plaque tubulaire d'avant et suivait une génératrice qui aurait été à $0^m,15$ de hauteur verticale au-dessus de la génératrice inférieure.	Un ouvrier brûlé assez grièvement. Fourneau en partie démoli.	Manque d'eau. — Le métal fortement surchauffé n'a pas résisté à la pression qui s'est élevée à l'arrivée de l'eau.

	Paris.	... lindrique vertical, avec foyer intérieur et corps cylindrique horizontal renfermant 25 tubes de cuivre rouge. Capacité 1.646 litres. Timbre 6 k. Dernière épreuve en 1874.	... s'est déchiré suivant une sorte d'hélice partant d'un point situé à l'extrémité de la génératrice inférieure du cylindre et se terminant à l'autre extrémité, après avoir fait une fois et demie environ le tour du cylindre. Un morceau s'est détaché. Il y avait sous le corps cylindrique une région de 1/3 de mètre carré environ où l'épaisseur de la tôle était réduite à 1 1/2 millimètre et même 1 millimètre en quelques points.	... tuées; trois autres blessées plus ou moins sérieusement. Dégâts matériels.	Corrosion extérieure de la tôle de l'enveloppe cylindrique.

RÉSUMÉ.

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

	NOMBRES.	TUÉS.	BLESSÉS. (1)
1° Par nature d'établissements :			
Atelier de force motrice	1	1	1
Bateaux	5	6	11
Battage de grains	6	7	14
Blanchisserie	1	»	»
Chemins de fer	3	1	2
Construction mécanique	1	7	3
Distillerie	1	»	»
Etablissement de bains	1	»	3
Fabrique d'engrais	1	1	1
Fabrique de pâtes alimentaires	1	»	1
Filature	1	1	2
Machine routière	1	1	2
Mélange de mortier	1	1	3
Moulin	1	1	»
Papeterie	1	3	1
Savonneries	3	1	»
Scierie	1	1	4
Serrurerie	1	»	1
Sucreries	2	2	2
Teinturerie	1	1	1
Tissage	1	»	»
Totaux	35	35	52
2° Par espèces d'appareils.			
Chaudières sans foyer intérieur :			
Horizontales non tubulaires, avec ou sans bouilleurs	8	5	6
Horizontales plus ou moins tubulaires, avec ou sans bouilleurs	4	4	9
Chaudières avec foyer intérieur :			
Horizontales non tubulaires	2	1	3
Horizontales tubulaires	14	20	26
Verticale non tubulaire	1	»	»
Verticale tubulaire	1	1	3
Verticale à tubes bouilleurs	1	»	1
Récipients	3	4	2
Appareils accessoires	1	»	2
Totaux	35	35	52

3° D'après les causes (2)

Conditions défectueuses d'établissement :	
Construction, disposition, installation ou matières défectueuses	6
Conditions défectueuses d'entretien :	
Usure. Amincissement du métal	5
Corrosion extérieure	4
Réparations non faites ou défectueuses	2
Mauvais emploi des appareils :	
Manque d'eau (suivi ou non d'alimentation intempestive)	10
Excès de pression	5
Autres imprudences ou négligences	3
Causes restées inconnues ou incomplètement déterminées	3

(1) Parmi les blessés indiqués dans les tableaux ci-dessus, quelques-uns ne le sont que légèrement, ainsi qu'il résulte des indications portées à la colonne du bulletin intitulée « conséquences de l'accident ».

(2) Le nombre total des causes est supérieur à celui des accidents, parce que le même accident a été quelquefois attribué à plusieurs causes réunies.

ETAT ACTUEL
DE
L'INDUSTRIE MINÉRALE
DANS
LE CERRO DE PASCO (*)

Par MAURICE DU CHATENET, professeur à l'École des mines de Lima, ancien élève de l'École polytechnique et de l'École des mines.

Traduction, par extraits, par M. NARIÑO, élève de l'École des mines.

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX.

La région des montagnes de Pasco est justement réputée depuis de longues années, pour la richesse des mines d'argent qui s'y rencontrent. L'extraction des minerais se fait depuis fort longtemps (1630) d'une manière continue ; et l'étude des gîtes permet d'affirmer que l'exploitation du métal précieux pourra se prolonger encore pendant de nombreuses années.

Situation. — D'après Rivero, le Cerro de Pasco est situé par 10° 55′ de latitude sud et 75° 40′ de longitude à l'ouest du méridien de Greenwich. L'altitude au-dessus du niveau de la mer, prise par MM. Paz-Soldan et Babinski, sur la place de Champimarca, est de 4.327 mètres. La ville

(*) Estado actual de la Industria minera en el Cerro del Pasco. (Extrait des *Annales des constructions civiles et des mines du Pérou.*)

est située au nord d'un grand plateau, compris entre la grande chaîne de la Cordillère, qui suit la direction générale S.-E.-N.-O., et un immense détour que fait la chaîne vers le S.-O. Un peu au sud de Cerro, deux ramifications importantes se détachent de la chaîne orientale de Junin, vers l'Est et vers le Nord, et entre lesquelles coule le Rio-Huallaga. Un peu au nord de la ville court un autre chaînon parallèle au dernier des précédents ; la ville est comprise, par suite, entre ces montagnes; aux alentours se trouvent des vallons, dans lesquels circulent des cours d'eau dont la force motrice est utilisée.

Climat. — La rigueur du climat de Pasco est célèbre au Pérou ; mais cette réputation n'est méritée qu'en partie. De même que sur le littoral, on ne distingue que deux saisons : 1° l'hiver, de novembre à avril, c'est la saison des pluies et des neiges (temp. maxima + 12°) ; 2° l'été, qui est plus plus froid (temp. maxima + 7° minima — 3°), vu l'absence des pluies, l'air est très sec et le froid est, par suite, beaucoup plus sensible.

La population est d'environ 9.000 habitants, dont la majeure partie est composée d'Indiens de petite taille, mais à la poitrine large, formés à ces hautes régions et aux travaux des mines. Il faut signaler l'absence totale des cultures dans les environs ; les pâturages sont maigres et peu abondants, mais ils suffisent néanmoins à nourrir les mules, chevaux et lamas, qui sont fort employés dans les travaux du traitement.

L'influence de la raréfaction de l'air se fait sentir sur les personnes récemment arrivées des plaines, ainsi que sur les bêtes de somme.

Minerais. — Les minerais du Cerro de Pasco sont tous exploités en vue de l'extraction de l'argent, quelle que soit leur nature. On distingue trois espèces :

1° Les pacos ou cascajos ;
2° Les bronzes et les pavonados ;
3° Les minerais plombeux.

1° *Pacos.* — Les pacos du Pérou sont l'équivalent des colorados du Mexique, les minerais sont rouges, et l'aspect général ne semble pas démontrer la présence de l'argent. La structure est plus ou moins lithoïde ou terreuse, avec peu ou pas de traces de cristallisation, la couleur rouge ou brune provient de l'oxyde de fer qui constitue la plus grande partie du minerai.

Les pacos présentent la particularité de ne renfermer que des matières oxydées, et, en général, à leur maximum d'oxydation.

Ces minerais, dont la composition est assez variable, sont presque exclusivement composés d'oxyde de fer, avec des carbonates de plomb et de cuivre, ou de l'oxyde de cuivre. Les minerais avec plomb se rencontrent dans les parties supérieures du gisement, vers les calcaires qui limitent le gîte ; les minerais cuivreux se trouvent sous la ville même. Les minerais en roche portent le nom de *cascajos*; lorsqu'ils sont terreux on les appelle plutôt *llampos.* La variété dite *pedernales* se compose d'une sorte d'arène siliceuse, imprégnée d'oxyde de fer, qui est plus dure que les types précédents ; par suite de l'absence de fossiles, il est fort difficile d'assigner un âge à ces formations. D'après certains caractères, elles semblent contemporaines de l'étage jurassique. Dans les parties inférieures du terrain contenant les oxydes, on rencontre ces minerais terreux, jaunes ; ils sont alors plus chargés de fer.

Les minerais sont pauvres en argent, la teneur la plus faible est de 4 marcs par caisse (*), elle s'élève quelquefois

(*) Le cajon (caisse) du Pérou vaut 3 tonnes. Une teneur de 1/1000 d'argent correspond à 12 marcs par caisse.

La teneur de 4 marcs correspond au métal *retiré*, et non au mé-

jusqu'à 15 marcs, mais le titre habituellement est de 6 marcs (valeur du marc 0^k, 244).

L'état chimique auquel se trouve l'argent est difficile à reconnaître. M. du Chatenet a vainement recherché les bromure, chlorure, iodure; il a trouvé des traces de soufre et d'antimoine.

2° *Bronzes.* — Le minerai est ainsi nommé parce qu'il est formé de pyrites de cuivre et de fer, cette dernière dominant habituellement; cette dénomination est aussi attribuée à des matières siliceuses avec pyrite de cuivre. Le bronze se rencontre toujours au-dessous des pacos, formant une couche dont l'inclinaison générale est de l'ouest vers l'est, et dont l'étendue et la profondeur sont encore inconnues. Quand la pyrite de fer est seule, la matière est pauvre en argent; quand le bronze est plus foncé, la teneur en cuivre et en métal précieux augmente. Les bronzes sont plus durs que les pacos, et jusqu'à présent ils ont été beaucoup moins exploités; de même que pour les pacos, l'état chimique de l'argent est à peu près inconnu.

3° *Pavonados.* — Ces minerais ont été ainsi nommés à cause de leur éclat chatoyant qui rappelle celui des plumes du paon. Ce sont des sulfo-arséniures ou des sulfo-antimoniures de cuivre; ils se trouvent à la partie inférieure du terrain métallifère. Ce sont des minerais riches en argent; certaines parties contiennent plus de 100 marcs par caisse, mais leur exploitation est peu avancée ; car ces minerais ne peuvent être traités par le procédé des patios, et leur transport jusqu'à Lima est assez onéreux.

4° *Galènes.* — On trouve vers le Nord, dans les parties supérieures du gîte, des galènes argentifères assez pures, à

tal réellement contenu. Il en sera de même des divers chiffres que nous citerons.

part un peu d'antimoine,— mais en général elles sont pauvres ; — la quantité qu'on exploite aujourd'hui contient 15 à 30 marcs par caisse.

En résumé, le minerai traité à Pasco contient en moyenne 13 à 15 marcs d'argent par caisse, c'est-à-dire qu'on retire ce poids de métal fin après le traitement.

Formation du gîte. — En général, les matières minérales qu'on rencontre au Cerro se présentent rarement sous la forme de filons bien caractérisés ; on a émis cependant l'idée que le gîte ne serait qu'un immense filon de composition variable en ses différents points ; mais à cette hypothèse on a objecté que : 1° le remplissage habituellement formé par des fragments tombés des parois de la fente primitive n'existe pas ; 2° les gangues ordinaires de filons ne se rencontrent pas, à l'exception des pyrites, qui forment ici la partie utile elle-même.

D'un autre côté, il est difficile de supposer que le gîte soit formé de lits interstratifiés à la façon des sédiments ; car, on aperçoit à peine des indices de stratification.

On a observé les faits suivants : les matières sulfurées se trouvent toujours à la partie inférieure, ou au moins elles sont toujours recouvertes par une certaine épaisseur de pacos. La séparation des bronzes et des pacos est toujours fort nette : de plus, dans les galeries anciennes, telles que celle de Quinlacocha, qui sert à l'épuisement, on trouve des dépôts verts, rouges, blancs, bleus, qui ne sont autre chose que des sulfates à divers états d'oxydation ; les eaux qui sortent sont acides.

Des eaux thermales ont primitivement déposé les éléments nécessaires à la formation des sulfures (bronzes, etc.). Les parties supérieures, se trouvant exposées aux actions atmosphériques, se sont oxydées pour donner naissance aux pacos ; cette oxydation a gagné plus ou moins rapidement en profondeur, selon les saisons, suivant la qualité

et la porosité des parties ; par exemple, elle a dû être plus active avec la pyrite blanche.

La pyrite de fer, contenant plus de soufre qu'il n'en faut pour former le sulfate neutre de fer, les eaux deviennent acides, et par l'effet de cette vitriolisation des pyrites, elles se chargent de sels divers et peuvent attaquer certaines parties du terrain sur lequel elles coulent : l'état de désagrégation des pacos peut tenir à cette cause.

L'argent existait probablement dans les bronzes à l'état de sulfure, et dans les pavonados à l'état de sulfo-antimoniure.

Exploitation. — Les travaux d'exploitation, pratiqués à Pasco sont fort défectueux. Il n'existe ni puits verticaux, ni galeries horizontales ; la direction même des fendues a été livrée au hasard. L'abatage se fait à la main, à la poudre ou à la dynamite. Le seul mode d'extraction ou de roulage employé encore aujourd'hui est le portage à dos d'homme.

L'épuisement présente de même de grands défauts.

Il faut signaler une difficulté importante à vaincre dans l'exploitation : l'absence totale de bois dans les environs; le transport de grandes pièces à ces hauteurs est fort onéreux.

Statistique des mines. — Les données suivantes, ont été fournies par la Députation minière à M. du Chatenet, sur le nombre de mines du Cerro. Il existait en avril 1879, dans le district, 179 mines en exploitation, et 694 arrêtées. Elles sont distribuées de la manière suivante :

Dans le district de *Yanacancha*, on trouve 18 mines en activité et 113 arrêtées. De ces mines on retire divers qualités de minerais, en général cuivreux ; on exploite aussi la pyrite de fer et de cuivre, qui est employée comme matière première pour la fabrication du magistral. Parmi les mines abandonnées, 40 sont exploitées de temps en

temps, pour extraire des *oxydes de cuivre*, qu'on utilise comme réactifs, dans certains cas qui peuvent se présenter dans les traitements aux patios.

« A *Cayac*, on compte 33 mines en exploitation et 40 dont les travaux sont suspendus. Le peu de minerai qu'on retire contient une proportion notable de carbonate de plomb.

« A la *Mataderia*, 1 mine en activité, 9 arrêtées.

« A *Chanpimarca*, 32 mines arrêtées, dont on a extrait anciennement des minerais de toutes sortes, pacos et sulfures riches.

« A *Yauricocha*, 2 mines en activité et 68 arrêtées.

« A la *Paccha*, 1 mine exploitée, 54 arrêtées.

« A *Patarcocha*, 26 mines abandonnées; les derniers districts sont ceux qui ont fourni, autrefois, les minerais les plus riches.

« A *Santa-Rosa*, 62 mines en exploitation, 53 abandonnées. Cette partie du gîte est exploitée, depuis longtemps, avec une grande activité; on en a extrait des quantités prodigieuses de minerais; aujourd'hui encore, c'est là que se trouvent les principales exploitations de Cascajos.

« A *Ayapoto*, 9 mines en activité et 4 arrêtées

« A *Huancapucro*, 3 mines en activité, 4 arrêtées.

« A *Arenillaplata*, 12 mines en exploitation, 16 abandonnées,

« A la *Valeria*, 7 mines exploitées.

« A *SantaC-atalina*, 11 mines en activité, et 11 arrêtées,

« A *Uliachin*, 3 mines en activité, et 15 arrêtées.

« A *Portachuelo*, 3 mines fournissent du minerai, et 33 sont arrêtées.

« A *Tingo*, 4 mines en activité, 2 arrêtées.

« Dans la pampa de *San-Andres*, 5 en activité, 27 arrêtées.

« A la pampa de *SanJ-uan*, 1 mine exploitée, 7 abandonnées.

« A *Rumillana*, 4 mines arrêtées.

« A *Matagente*, 2 mines exploitées, 4 arrêtées.

« D'après la tradition, on a extrait de ce pointdes minerais fort riches, mais leur exploitation a été à peu près abandonnée, après un grand éboulement qui ensevelit 300 ouvriers.

« Dans les alentours du Cerro de Pasco, mais faisant partie du même gisement, on trouve 30 mines actuellement exploitées, parmi lesquelles on voit celles de *Colquijirca*, les plus vieilles du Cerro, avec celles de *Vinchos*, où l'on exploite à la *Candelaria* une fort belle veine de galène argentifère. »

Traitement. — Au sortir de la mine, les minerais sont d'abord concassés en fragments de 0m,02 au plus de diamètre, l'opération est faite par des hommes, au marteau.

Les ateliers de préparation, ou *haciendas minerales*, sont sur les petits cours d'eau environnants, dont on a utilisé la force motrice pour cette préparation. Ces ateliers comprennent :

1° les broyeurs, appelés *ingenios*.

2° le *buitron*, qui comprend l'ensemble des cirques ou patios où se fait l'amalgamation

3° La *caperusa*, c'est-à-dire le four de distillation de l'amalgame d'argent ;

4° Diverses constructions accessoires.

1° **Broyage.** — De toutes ces opérations, le broyage a une importance capitale, car toutes les autres en dépendent, au point de vue de la quantité et de la qualité de la matière. La production des ingenios est limitée, car ils sont mu hydrauliquement, et la force est déterminée. Ce sont des moulins à roue motrice *horizontale*, de deux types différents : 1° le *carcamo*, dans lequel la roue motrice est audessous de la meule, 2° le *tabladillo*, dans lequel la roue

motrice est au-dessus des meules, qui alors se trouvent sous une voûte.

Les roues sont à palettes, sur lesquelles l'eau tombe, avec une hauteur de charge variant de 2^{m},50 à 3 mètres, par l'intermédiaire d'un petit canal incliné à 45°. Le rendement théorique de ces roues serait de 1/2 environ ; mais en réalité, il est beaucoup plus faible.

Le broyeur proprement dit se compose de deux meules en diorite ou en grunstein; l'une est horizontale et s'appelle *solera*, l'autre est verticale et s'appelle *voladera*, et roule sur la précédente. La roue horizontale est au ras du sol, entourée par un petit rebord en terre, formant tasse. La voladora a un diamètre de 80 à 110 pouces. On fait arriver un peu d'eau sur la tasse, pour entraîner les parties les plus fines, qu'on recueille ensuite au moyen de deux bassins de décantation. L'opération dure 4 ou 5 heures. La vitesse du mouvement est limitée, d'abord par la valeur de la force motrice, et en second lieu par cette considération qu'une trop grande vitesse, avec des parties trop fines, causerait des pertes : on la tient entre 10 ou 12 tours par minute. Le travail produit est de deux chevaux environ; les moulins ordinaires produisent 1 caisse à 1, 3 par jour.

Les parties fines produites s'appellent *llamos;* le reste s'appelle *relaves.*

Suivant une statistique datant de l'année 1874, on comptait 119 ateliers comprenant 336 ingenios ou moulins, parmi lesquels 167 recevaient toute l'année la quantité d'eau nécessaire à leur marche, et 173 arrêtés une partie de l'année.

2° **Traitement au Buitron** (traduction littérale du mémoire.) — « Le traitement des minerais moulus se fait à la partie de l'atelier appelée le *buitron*; le buitron se compose toujours d'un certain nombre de cirques ou *patios*,

attendu que chaque atelier contient au moins un moulin, dont la production est toujours suffisante pour fournir la matière première à plusieurs cirques.

« Le patio se compose d'une aire horizontale et circulaire, formée par des pierres plates unies avec du ciment, afin d'obtenir une surface plane et imperméable; la superficie des patios est variable; mais en général le diamètre est de 5 à 6 mètres. Le cirque est entouré par un mur en maçonnerie ou simplement en terre, dont la hauteur est de 1m,50. Au centre du cirque, se trouve une sorte de colonne de peu d'élévation au-dessus du sol; durant certaines opérations du traitement, un ouvrier s'y place debout, pour pousser les chevaux; cette colonne s'appelle le templador, c'est-à-dire le modérateur.

« Les cirques ne sont pas mis, arbitrairement, en relation les uns avec les autres : il y a une certaine disposition qu'il est préférable d'adopter, en vue de faciliter l'opération finale, savoir la séparation de l'amalgame d'argent. La disposition suivante est celle qu'on rencontre le plus fréquemment. Les cirques sont généralement disposés par files ou rangées; pour réduire la surface de terrain occupé par le buitron, chaque cirque d'une rangée est tangent à deux cirques de la rangée voisine; chaque groupe de deux files est séparé des autres par un intervalle libre, occupé par un canal, dans lequel on peut envoyer de l'eau à volonté; ce canal est appelé *arca*. Les deux rangées de cirques, situées de chaque côté de l'arca, sont disposées de façon que les cirques qui les composent soient symétriques deux à deux, par rapport à l'axe du canal. Au point le plus rapproché de l'arca, chaque cirque est percé d'une porte qui sert au chargement et au déchargement, ainsi qu'à l'entrée des chevaux; en ce point le canal contient un puits de 0m,50 à 0m,60 de profondeur; de sorte que, entre deux séries de deux files de cirques, se trouve un canal, avec des puits en regard de la porte de chaque

patio. Après avoir dépassé les cirques, l'*arca* doit encore contenir deux puits, placés comme si les cirques existaient encore. Il n'y a jamais de difficulté pour fournir de l'eau aux *arcas*, quand cela est nécessaire, parce que chaque atelier doit avoir de l'eau pour les moulins, et il est toujours très facile de l'envoyer dans le canal, en prenant l'eau soit dans le ruisseau qui fournit la force motrice, avant la roue hydraulique, soit au sortir du moulin.

« A côté des cirques se trouve généralement une cuve toujours remplie d'eau ; elle sert à laver les pieds et les jambes des chevaux lorsqu'ils sortent des patios, pour recueillir ainsi les matières qui peuvent adhérer aux membres des animaux.

« Avant de commencer le traitement, on connaît plus ou moins le titre, les qualités et les défauts du minerai. Le minerai a été essayé par le procédé appelé *guia* (*), qui consiste à reproduire en petit les opérations qui se font dans les patios sur une plus grande échelle.

« *Essai du minerai.* — De la masse du minerai, extrait journellement de la mine, on sépare une livre de minerai commun, qu'on prend pour type moyen, on l'envoie à l'essayeur ; celui-ci porphyrise le tout avec soin dans un appareil très primitif, qui consiste en une pierre concave dans laquelle on pulvérise la matière : cette opération qui est très longue, doit s'exécuter avec beaucoup de soin, pour obtenir une poudre presque impalpable. Les essayeurs assurent qu'on observe une variation dans le rendement, quand l'essai se fait sur une matière imparfaitement porphyrisée ; on ajoute à la masse pulvérisée les mêmes réactifs employés dans le cirque, c'est-à-dire le sel et le magistral, à peu près dans les mêmes proportions

(*) Ce mot signifie guide.

que dans le traitement : on ajoute deux adarmes (*) de mercure, on verse de l'eau pour former une pâte d'une certaine consistance, on la pétrit à la main en la défaisant pour bien répartir les divers réactifs dans la masse ; quand on croit avoir atteint ce résultat, on fait avec toute la matière une seule boule ou *guia*, et on la laisse reposer pendant 20 ou 30 heures.

« Ce temps écoulé, on fait la séparation de l'amalgame d'argent et des matières terreuses du minerai. C'est ce que l'on appelle *puruñar ;* on emploie à cet effet un plat de terre qu'on nomme *puruña ;* on met dans ce plat un peu de guia, qu'on répartit avec les doigts sur toute la surface, en jetant un peu d'eau ; on place l'assiette dans une cuve ou sur un tonneau plein d'eau, à peu près au niveau de l'eau, puis on donne à l'assiette un mouvement horizontal de va-et-vient. L'eau entre par un côté et sort par l'autre, en emportant la partie la plus légère, c'est-à-dire la terre; on prolonge ce mouvement jusqu'à ce qu'il ne reste plus rien, à l'exception du mercure combiné à l'argent. On sort alors la puruña du tonneau, en y laissant un peu d'eau, et on continue à exécuter le mouvement précédent, compliqué d'un mouvement de rotation ; de cette façon, on réunit le mercure disséminé en un seul globule. On forme un bouton de mercure que l'on appelle *cuerpo* ou corps ; mais il reste toujours quelques particules qui ne se sont pas agglomérées par l'effet du mouvement, on les appelle *liz*. Suivant l'aspect, la couleur, l'état de division de la liz, suivant l'apparence qu'elle a après réunion avec le doigt pour en faire un petit globule, on peut reconnaître si le minerai essayé est *chaud* ou *froid ;* de plus, pour avoir une donnée certaine sur le titre de la matière, l'essayeur se fait dans le pouce une petite cavité, en appuyant le doigt sur une petite bosse que porte la puruña. Il place le doigt sur le glo-

(*) L'adarme vaut 1797 milligrammes.

bule de mercure, de façon à le tenir sous la cavité, et presse alors fortement sur l'assiette, le mercure liquide s'échappe, et il ne reste que l'amalgame solide, aplati et collé à l'assiette. Suivant la proportion de cet amalgame, on peut dire quel est le titre du minerai essayé.

« Chaque semaine on mêle les *guias*, et on fait une nouvelle opération pour chercher la teneur générale du produit de la semaine.

« Ce système d'essai, bien qu'il paraisse primitif, est cependant assez utile, à la condition d'en interpréter convenablement les résultats ; il est clair qu'il n'a aucune raison d'être, si ce n'est comme accessoire et comme contrôle de l'amalgamation dans les patios. Il n'y a certainement pas de raison pour accepter les résultats d'une matière absolue ou pour les comparer à ceux que donnerait la « coupellation » ; ces résultats ne sont même pas comparables entre eux, quand la méthode est appliquée à deux minerais de nature différente. Mais, au Cerro, si l'on tient compte de ce que ce système est employé pour essayer les pacos traités dans les cirques, de ce que son résultat a pour but d'indiquer non pas le titre véritable du minerai, mais seulement la quantité d'argent que l'on peut en extraire par le procédé actuel du patio, et, en outre, de ce qu'il fournit des renseignements sur la manière dont se comportera le minerai durant le traitement, on reconnaîtra que ce système d'essai est très utile et très commode, quant au traitement dans les cirques.

« Le traitement dans le buitron comprend les opérations suivantes : chargement du cirque, mélange avec le sel, incorporation du mercure et mélange intime, opérations diverses ayant pour but de corriger une mauvaise marche dans le traitement, réunion de l'amalgame d'argent, et sa séparation des terres.

« *Chargement.* — En premier lieu, il faut apporter

au cirque la matière à traiter; des ouvriers apportent au cirque le minerai moulu, qu'ils prennent dans les réserves en mêlant les *llamas* et les *relaves*, dans une proportion correspondante à leur production; ce chargement est fait à dos d'hommes. Les manœuvres placent leur charge sur le sol, en faisant de petits tas appelés *corps*. Le poids de la charge dépend naturellement de la dimension des cirques: en général il varie de 4 à 6 caisses.

« *Addition du sel.* — Quand le cirque contient le nombre de *corps* qui doit constituer sa charge, on mêle ces dernières en répartissant la charge sur toute la superficie de l'aire, pour donner partout la même épaisseur à la masse, on ajoute le sel en poudre fine et on verse de l'eau pour le dissoudre et former une pâte d'une certaine consistance.

« La quantité de sel employée est variable selon la teneur indiquée par la *guia ;* en moyenne on verse un peu plus d'une *arrobe* (*) par marc d'argent retiré dans le traitement. Par exemple, dans un cirque de 5 caisses de minerai au titre de 5 marcs par caisse, on ajoute 28 à 30 arrobes de sel; cependant, pour les minerais un peu plus riches, à 9 ou 10 marcs, on ajoute un peu moins d'une arrobe par marc. Le sel qu'on employait autrefois venait du littoral, d'où on le transportait sur des mules; aujourd'hui, on emploie presqu'exclusivement le sel gemme de San-Blas, mine qui se trouve à 12 lieues environ du Cerro.

« *Mélange intime des matières au moyen du piétinement des chevaux.* — Après l'addition du sel, on fait un mélange de toute la masse; ce mélange, comme tous les autres d'ailleurs, se fait par l'unique procédé appliqué dans tous les ateliers, c'est-à-dire par le piétinement des chevaux. Ces chevaux sont manœuvrés par l'ouvrier debout sur le templador, à l'aide d'un fouet à manche court et à longue

(*) L'arrobe vaut environ 11k,5.

courroie. L'homme guide les chevaux de façon qu'ils tournent tous dans le même sens autour du templador, et de façon qu'ils soient tous en file suivant un même rayon du patio; suivant la dimension de celui-ci, on place de 6 jusqu'à 10 chevaux, se touchant les uns les autres du même côté du templador; de cette façon, toute la masse est piétinée. Après quelque temps de marche dans un sens, l'ouvrier fait tourner les animaux en sens contraire pour diminuer tant soit peu leur fatigue. Cette manœuvre, qui dure quatre heures et même plus, s'appelle *repaso*, ce qui veut dire repasser. Les autres *repasos* qui ont lieu durant le traitement sont plus longs et durent environ huit heures. Quoique ce système soit primitif, il est certain que le piétinement des chevaux produit un bon malaxage; les sabots pénètrent dans la boue jusqu'au sol dallé, quand les chevaux les retirent, une certaine quantité de matière est projetée en avant, et foulée à nouveau.

« Après deux heures de piétinement, toute la masse a une consistance très homogène ; le sel est dissous, ou tout au moins l'eau qui forme la pâte est saturée complètement. Alors, si la guia a indiqué que le minerai était *froid*, on fait la première addition du réactif propre à corriger cette tendance; c'est le magistral, dont on jette une arrobe environ à la surface du cirque. Les chevaux s'arrêtent un moment, des hommes armés de larges pioches pénètrent dans le patio et font un premier mélange du magistral avec la pâte ; en retournant cette dernière sens dessus dessous; cette opération s'appelle le *retournement*. Quand toute la masse est ainsi retournée, on remet de nouveau les chevaux en marche durant deux heures pour compléter le mélange. A l'expiration de ce temps, le mélange est bien intime, et dans les meilleures conditions pour favoriser l'action du magistral ; pendant la marche des chevaux, on ajoute de temps en temps un peu d'eau.

« Au sortir des cirques, les chevaux sont conduits à la cuve pleine d'eau; en marchant, le mouvement fait détacher les boues qui adhéraient aux jambes, ces boues tombent au fond, et elles sont recueillies pour être traitées de nouveau dans le buitron. Cette première série d'opérations, ayant surtout pour objet l'introduction et le mélange du sel, s'appelle *ormiguillo.*

« *Incorporation.* — L'opération suivante prend le nom d'incorporation. On attend, d'habitude, deux ou trois jours après l'ormiguillo, en laissant reposer la pâte dans le cirque; elle perd ainsi peu à peu son eau. Les ouvriers viennent de nouveau retourner la masse avec des pioches, en versant une nouvelle quantité d'eau; puis on introduit de nouveau les chevaux pour mêler la boue, et lui donner de l'homogénéité. Quand ce résultat est atteint, on fait une excavation au centre de la masse, et on y place un quintal ou un quintal et demi de minerais cuivreux, contenant le cuivre à l'état d'oxyde, et qui proviennent de Yanacancha; ces minerais ont été préalablement moulus dans les ingenios, comme les autres matières. Cette addition ne se fait pas dans tous les ateliers, elle a pour but de modérer l'action du mercure au début; elle paraît d'autant plus utile que la guia est plus *chaude*. On pousse quelque temps les chevaux, pour mêler les matières avant de verser le mercure; quelquefois on fait l'incorporation sans ce nouveau piétinement.

« L'addition du mercure se fait de la manière suivante : il est important de l'introduire très divisé, pour le mêler facilement et plus uniformément; un ouvrier le porte dans un sac de toile ou dans une toile carrée dont les angles sont relevés et réunis dans la main; l'ouvrier marche dans le patio, foulant la boue, et répandant une pluie de mercure qui passe au travers de la toile; de cette manière, toute la surface du patio est arrosée uniformément. On donne de

suite un *repaso* pour mêler les matières, un nouveau retournement, et on fait de nouveau pénétrer les chevaux. Dans le courant de la journée, on fait subir à la matière plusieurs retournements et repasos, en ajoutant de l'eau pour rendre la masse plus fluide. Au sortir du patio, on lave toujours les jambes des chevaux.

« La quantité de mercure employée varie suivant la proportion d'argent contenu dans le minerai traité d'après la guia ; cependant elle n'est pas proportionnelle à ce poids : elle augmente un peu moins rapidement. Dans un cirque de quatre caisses de 5 marcs, on met 78 livres de mercure ; pour un cirque de cinq caisses de 8 marcs, on en emploie 90 à 100 livres.

« Depuis le moment où l'on fait l'incorporation jusqu'à l'amalgamation complète, il y a lieu d'examiner avec soin toutes les phases ou périodes que présentent le traitement ; les indications nécessaires dans ce cas sont données de même par l'essai avec la puruña. On fait l'opération avec de petites quantités de la pâte recueillies en différents points du cirque, afin d'avoir une composition moyenne représentant à peu près celle de la masse générale ; on lave le mélange afin d'obtenir, comme dans le cas de la guia, le corps et la liz. De cette façon, on peut parfaitement contrôler les progrès de l'amalgamation de l'argent, suivant la proportion d'amalgame solide qui reste collé à l'assiette après la pression avec le pouce ; en outre, on obtient des données fort utiles sur la marche de l'opération.

« La masse traitée peut subir comme qui dirait deux maladies de nature différente, appelées la *fièvre* et le *refroidissement ;* ces états ne peuvent être reconnus que par des personnes habituées aux essais à la puruña, et nous n'essaierons pas de décrire tous les aspects que peut présenter la liz sur l'assiette ; nous nous bornerons à indiquer simplement les traits principaux.

« On reconnaît que l'amalgamation suit une bonne mar-

marche quand la quantité d'argent combiné au mercure augmente progressivement et d'une façon régulière ; quand la couleur du mercure est toujours le blanc, le cirque n'est ni trop chaud ni trop froid : on dit alors que sa masse *a sa chaleur.*

« On s'aperçoit de la *fièvre*, à la couleur particulière que prend l'eau de l'assiette, et à une sorte de précipité blanc qui reste en suspension dans l'eau, qui doit être du sous-chlorure de mercure. Le *froid* est caractérisé par la couleur jaunâtre du mercure et par la production d'une matière noirâtre, quelquefois en suspension dans l'eau, mais qui, la plupart du temps se tient à la surface ; pour cette raison, ce précipité ne semble pas contenir de mercure. Ces caractères sont naturellement plus ou moins sensibles, suivant que le cirque est lui-même plus ou moins chaud.

« La fièvre et le froid sont deux maladies qu'il y a lieu de soigner sans distinction, car toutes les deux conduisent à un déchet dans le traitement. Ce déchet consiste soit dans une plus grande perte de mercure ou un plus faible rendement, soit dans une prolongation du temps nécessaire à l'amalgamation, ou bien encore dans une certaine difficulté pour contrôler la marche et vérifier l'instant de l'amalgamation complète. Quand ces caractères ne se présentent qu'avec une faible intensité, le mal n'est pas encore dangereux : on dit alors que le cirque est frappé ou gâté, avec tendances à la fièvre ou au froid. On peut cependant continuer la même marche, malgré cette mauvaise disposition du cirque ; mais si le mal augmente, il y a lieu de commencer la guérison ; cette opération se fait à l'aide de réactifs, appelés, par suite, remèdes.

« Ce n'est que quelques jours après l'incorporation, qu'on peut reconnaître que l'amalgamation prend une mauvaise tournure ; alors le cirque est à peu près sec. Quelle que soit la nature de la maladie, on prépare la matière à la guérison, en la bouleversant par un retourne-

ment et par le passage des chevaux, en ayant soin d'ajouter de l'eau pour donner à la boue une fluidité suffisante ; quand la matière est parfaitement homogène, on ajoute le remède propre à la maladie.

« *Fièvre.* — Si le cirque est très chaud, après la préparation à la guérison, on ajoute des minerais de cuivre oxydés, pulvérisées comme les autres minerais, on en recouvre la pâte, on ajoute de l'eau et on mélange intimement à l'aide des pioches ; on répartit la matière sur toute la surface, et on introduit les chevaux pour achever le mélange. De temps en temps, toutes les heures, par exemple, on fait un essai à la puruña, et on examine avec soin les modications apportées, par le traitement curatif, aux caractères préexistants. Ces symptômes perdentp eu à peu de leur intensité, et au bout d'un certain temps, le cirque semble posséder la chaleur suffisante. Cependant, la proportion de remède à ajouter doit être calculée suivant le degré de la maladie, afin de ne pas donner au cirque la maladie inverse. Au lieu de l'oxyde de cuivre qui est lui-même argentifère, on emploie aussi, pour guérir la fièvre, d'autres matières basiques, telles que les cendres ou la chaux. Ordinairement, on préfère les minerais de cuivre au début ou dans le courant de l'opération, réservant la chaux pour la fin.

« *Froid.* — Si le cirque est trop froid, on recouvre la surface de la boue avec du magistral en poudre ; on fait piétiner la masse par les chevaux. De même que dans le cas de fièvre, on constate, à l'aide de la puruña, les améliorations qui se produisent dans la marche de l'amalgamation. Si le progrès ne s'accentue pas jusqu'à ce que le cirque atteigne la chaleur voulue, on ajoute encore une nouvelle quantité de magistral, on retourne, on introduit les chevaux : au bout d'un certain temps, l'essai indique une

bonne marche ; on fait sortir les chevaux et on laisse reposer le cirque.

« La cure d'un cirque est assez difficile : il est important d'ajouter seulement la quantité de réactif nécessaire ; car il arrive souvent qu'un cirque qu'on vient de guérir du refroidissement présente ensuite une propension à un excès de chaleur, puis, que guéri de la fièvre, il soit frappé de refroidissement. Fort probablement, la cause de ce défaut tient à ce que les proportions des réactifs ne sont pas bien calculées ; il est préférable, à la première addition, de pécher par défaut, quitte à ajouter ensuite un peu de réactif, si l'on reconnaît l'insuffisance du remède. Tandis que, si l'on commence par ajouter un excès au début, la seule chose que l'on puisse faire, c'est d'arrêter le piétinement des chevaux quand le cirque a sa chaleur, vu que le mouvement, qui renouvelle constamment le contact des matières, favorise les réactions : pendant la période de repos qui suit, le réactif en excès continue à agir, quoique bien moins énergiquement ; il peut produire alors la maladie inverse de celle qu'on vient de guérir.

« Le degré de la cure est d'ailleurs difficile à estimer avec une certaine précision, car il est variable selon la force de la maladie, et suivant la saison, l'hiver étant plutôt favorable au refroidissement et l'été à la fièvre. L'emploi du magistral exige particulièrement de grands soins ; pendant l'hiver on ne doit laisser reposer la pâte que lorsqu'elle est un peu atteinte de fièvre ; au contraire, durant l'été, il faut arrêter les chevaux un peu avant que le cirque ait atteint la chaleur convenable.

« Quand la matière en traitement n'a pas présenté de symptômes évidents de fièvre ou de refroidissement, on la laisse reposer pendant une semaine, après l'incorporation. Au bout de ce temps, on fait le *soulèvement*, c'est-à-dire qu'on bouleverse entièrement la masse avec les pioches, pour amener les parties intérieures à la surface ; on

verse de l'eau pour remplacer celle qui s'est évaporée; on fait piétiner la masse par les chevaux durant quatre heures. On reconnaît alors avec la puruña si l'amalgamation suit une bonne marche : dans ce cas, on laisse reposer; en cas contraire on tâche de corriger le traitement. Le patio repose ainsi, durant le traitement, à plusieurs jours d'intervalle; c'est ensuite que l'onfait les soulèvements, les additions d'eau, le piétinement des chevaux, et l'on corrige toujours une mauvaise tournure, lorsqu'elle se présente.

« Les essais à la puruña indiquent aussi la quantité d'argent qui s'amalgame pendant un temps quelconque, ainsi que la rapidité avec laquelle s'enrichit l'amalgame. Si l'amalgamation semble se ralentir ou s'arrêter (dans ce cas le bouton qui reste sur l'assiette ne contient plus de mercure libre), il y a lieu d'ajouter une nouvelle quantité de mercure pour remplacer celle qui manque; cette addition s'appelle *llapa*. On ne doit jamais faire d'addition de mercure, sans que le cirque soit à un degré suffisant de chaleur, afin de diminuer les pertes de ce précieux réactif; si le cirque se trouve tant soit peu dérangé, il y a lieu de le guérir d'abord. Le poids de mercure employé dans ces additions est toujours inférieur au poids ajouté lors de l'incorporation; cette opération se fait de la même manière que la première, en arrosant le patio de mercure et faisant piétiner. Après quelques jours de repos, quand la *llapa* est bien incorporée dans la pâte, on soulève une ou plusieurs fois, en ajoutant du mercure s'il y a lieu.

« Enfin il arrive un moment où les essais à la puruña font voir que, malgré la présence d'une certaine quantité de mercure libre, la proportion d'amalgame n'augmente plus; de plus la lie prend un aspect particulier. On reconnaît à ces caractères que l'amalgamation est terminée, c'est-à-dire que tout l'argent susceptible de se combiner par ce procédé au mercure s'est déjà amalgamé. On com-

mence alors les opérations ayant pour but la séparation des parties stériles formant la boue.

« Pour faciliter l'agglomération en une masse unique du mercure libre et de l'amalgame, on ajoute une nouvelle quantité de mercure, 1/2 ou 1/5 environ du poids déjà employé ; ce poids s'appelle *mata;* l'opération peut s'appeler *extinction du cirque.* Pour la pratiquer, de même que dans le cas de la *llapa,* le cirque ne doit être ni trop froid ni trop chaud ; si un de ces défauts se présentait, il faudrait le corriger avec les réactifs convenables. On fait un dernier soulèvement, et l'on introduit une dernière fois les chevaux, pour mettre en contact toutes les particules de mercure disséminées dans la pâte.

« *Séparation de l'amalgame.* — La séparation du mercure ou de l'amalgame d'avec les matières boueuses se fait par un procédé mécanique, dans l'opération qu'on appelle *tina.* Le système adopté est des plus primitifs qu'on puisse imaginer ; pour préparer le travail, on commence par amonceler près de la porte toute la masse contenue dans le patio. L'opération se fait dans les puits et les canaux qui sont entre les cirques ; pour la *tina*, on emploie trois puits et le canal par l'intermédiaire duquel ils communiquent ; les parois intérieures de ces puits sont recouvertes à l'aide de peaux de vache imperméables et disposées de telle sorte que l'eau ne puisse pénétrer entre ces peaux et les parois du puits. Le puits qui fait vis-à-vis à la porte du cirque qu'on décharge porte le nom de capitaine ; les deux autres qui sont en aval s'appellent les relaveurs. Le canal est recouvert de même par des peaux, mais ici l'on emploie des peaux de mouton appelées *sabanillas* (ce qui signifie petits draps) : on a soin de placer le poil à l'extérieur, c'est-à-dire au contact de l'eau, ces peaux se recouvrant en partie ; de cette façon l'eau passe dans les puits et dans le canal, sans jamais toucher les parois

en terre. Le travail se fait de la manière suivante : un ouvrier, jambes nues, pénètre dans chacun des puits, dans lesquels le niveau de l'eau est à peu près à la hauteur des cuisses; un autre ouvrier est placé à la porte du cirque et jette de temps en temps dans le puits une partie de la boue amoncelée près de lui. L'ouvrier qui se trouve dans le puits marche sur place; le mouvement qu'il donne à l'eau facilite la séparation des matières métalliques, qui, en raison de leur poids, gagnent le fond; les parties légères restent en suspension dans l'eau, et sont entraînées par le courant. La séparation n'est pas parfaite dans ce premier puits, les eaux qui en sortent contiennent encore une quantité notable d'amalgame et de mercure; mais, en parcourant le canal, une partie des matières métalliques est retenue par le poil des peaux; la séparation s'achève dans les autres puits.

« Pour recueillir l'amalgame, on retire les peaux de mouton et on les lave dans le puits immédiatement supérieur, afin de réunir au fond les parties métalliques qui adhèrent à la laine; on sort de même les peaux des relaveurs, et on les lave avec soin dans le puits capitaine. On réunit tous les globules métalliques au centre, en les écrasant et les remuant avec les pieds ; on lave une dernière fois la masse à l'eau courante, pour enlever les dernières traces d'impureté, et l'on envoie la matière purifiée au dépôt.

« Ce système de lavage est très imparfait, comme le prouvent les pertes considérables en matières précieuses, argent et mercure ; en effet, si l'on vient à placer une puruña dans le canal à une assez grande distance du grand relaveur, un peu après un remous de l'eau, on recueille au bout de quelques instants un bouton de mercure dont la grosseur augmente constamment. On reconnaît ainsi, et d'une manière certaine, que les eaux contiennent encore du mercure longtemps après avoir quitté le dernier puits. Si l'on pèse

l'amalgame obtenu, on reconnaît que son poids est inférieur à celui du mercure employé, bien que la matière contienne théoriquement un excès de poids dû à l'argent; la différence entre le poids recueilli et celui du mercure constitue la *perte du tina.*

« *Séparation du mercure libre.* — C'est par distillation que l'on sépare le mercure de l'argent; mais il est inutile de distiller toute la masse obtenue par la préparation, attendu qu'une grande partie du mercure se trouve à l'état libre et parfaitement liquide. En conséquence, on commence par séparer le mercure libre de l'amalgame; ce qui se fait par filtration dans l'appareil appelé *manga*, c'est-à-dire manche. C'est une sorte de cylindre en cuir, terminé par une partie conique en toile qui sert de filtre, le tout est suspendu verticalement par des cordes, la pointe en bas. On recueille le mercure filtré sur un cadre de bois muni de pieds, dont la surface est formée par une peau imperméable qui forme tasse. Le travail est fort simple, on verse la matière par-dessus, une partie du mercure filtre naturellement par son poids : pour extraire une plus grande quantité de mercure, on frappe la manche avec des bâtons jusqu'à ce que l'amalgame devienne bien compact ; il prend alors le nom de *pelote.* Le mercure filtré et recueilli sur la tasse de cuir s'appelle *vilque.* »

3° **Distillation.** — « La dernière opération qu'on pratique dans les ateliers, c'est la *postura*, qui consiste dans la distillation de l'amalgame dans le but d'isoler l'argent et de recueillir le mercure. On emploie l'appareil appelé *caperusa.* C'est un petit four qui se compose : 1° d'un foyer avec grille pour brûler du charbon de terre, 2° d'un laboratoire où se trouve l'appareil de distillation proprement dit. Le laboratoire communique avec le foyer par une porte qui laisse passer les flammes; au-dessous de cette partie

du four, sur une caisse en fer pleine d'eau et recouverte par une planche munie d'une ouverture circulaire, en face du foyer. Sur le fond de cette caisse repose un trépied en fer, appelé chandelier, qui dépasse le niveau de la planche horizontale en passant par l'ouverture circulaire. Pour préparer l'appareil à fonctionner, on met au-dessus du chandelier une assiette de fer criblée de petits trous, et l'on place au-dessus un cylindre vertical également en fer, qui se trouve fermé ainsi à la partie inférieure par le fond de fer. Ce cylindre sert de moule à la pelote d'amalgame, on comprime avec force, on retire le moule, l'amalgame demeure sur le chandelier avec la forme d'un cylindre vertical. Au dessus et dans l'axe du cylindre, on place une cloche cylindrique en fer qu'on peut abaisser à volonté par l'intermédiaire d'une chaîne passant sur une poulie. On baisse cette cloche, de façon à recouvrir l'amalgame, jusqu'à ce qu'elle s'enfonce dans l'eau.

« Dans ces conditions l'appareil est prêt à fonctionner ; on allume le feu, les flammes du foyer viennent chauffer la cloche, le mercure distille en isolant l'argent, pour aller se condenser dans la caisse. On maintient l'eau, qui doit toujours rester froide, à la même température, en faisant circuler constamment un courant dans la caisse ; cette eau sort par une ouverture spéciale. Quand le mercure cesse de distiller, l'opération est terminée, on retire la cloche, on recueille l'argent qui, à cet état, est appelé *piña* (*). Le métal a conservé plus ou moins la forme primitive de l'amalgame, mais sa structure est très caverneuse. Le mercure condensé dans les caisses est de nouveau utilisé dans les *patios*.

« L'argent n'est pas livré au commerce sous cette forme, on le réduit en barres massives ; à cet effet on fait fondre

---

(*) Ce mot signifie ananas, pomme de pin ; cette dénomination vient probablement de l'aspect du métal.

les piñas ; cette dernière opération a lieu dans un établissement spécial et central, commun à tous les ateliers ; cet établissement, qui est la propriété de la Députation minière, est appelé « Maison de fusion des barres ». Le métal précieux est fondu dans des fours de galère, l'argent est placé dans un creuset de fer, généralement sans réactifs ; quelquefois, suivant le désir des propriétaires, avec quelques fondants, borax ou carbonate de soude. La fusion dure une demi-heure ; le métal fondu est coulé dans des moules en fer, où il prend la forme de barre, c'est-à-dire d'un prisme à section légèrement trapézoïdale. Le poids habituel de ces barres est de 280 à 300 marcs. Ces fours, comme ceux de distillation, sont chauffés à l'aide de la houille de Sanchez. La Direction de la fonderie prélève, comme droits de fusion, 3 centimes par marc fondu.

« Toutes les barres du Cerro sont envoyées à Lima. Après essai fait à la Monnaie, elles sont vendues à tant le marc d'argent fin. En moyenne, elles contiennent 0,005 à 0,010 de matières étrangères, dont le cuivre forme le principal élément. »

Partie économique. — Nous rappellerons d'abord que les divers titres que nous avons trouvés pour les minerais se rapportaient non pas à la teneur réelle, mais au poids d'argent retiré.

Nous considérerons un atelier ordinaire renfermant :

Un ingenio ou broyeur marchant toute l'année, 5 cirques, le four de distillation, ainsi que les ateliers accessoires.

Nous prendrons comme unité la charge d'un patio ordinaire, soit 4 caisses de minerai, donnant 5 marcs par caisse, soit 20 marcs d'argent.

	soles.
Extraction du minerai	48,00
Transport à l'atelier	49,60
Broyage	60,00
A reporter	157,60

		soles.
	Report	157,60
Extraction de l'argent.	Mercure perdu, 20 livres	24,00
	Sel	25,00
	Magistral	0,80
	Oxydes de cuivre	»
	Travail de 44 chevaux (8 réaux par cheval et par journée de 8 heures)	22,00
	Divers et main d'œuvre	12,50
	Distillation	1,00
Intérêts du capital de premier établissement pendant les deux mois que dure l'opération		17,10
Amortissement		8,80
Roulement		1,60
	Total des frais	270,40

NOTA. — Les oxydes de cuivre ne sont pas comptés, attendu que l'argent qu'ils apportent par eux-mêmes compense les frais qu'ils occasionnent.

Telles sont les dépenses d'une opération. Dans l'exemple cité, l'amalgamation a duré du 14 février au 1er avril 1879; avec le temps nécessaire aux autres opérations, on atteint les deux mois pour lesquels on a compté les intérêts de l'argent.

On a retiré de l'opération 20 marcs d'argent, payé actuellement 10 soles le marc en monnaie métallique, soit 200 soles.

	soles.
Frais	270,40
Produit	200,00
Perte	70,40

L'industrie précédente semble donc impossible ; elle le serait en effet sans l'énorme différence entre la valeur du papier-monnaie et celle de la monnaie métallique. On paye le marc d'argent 15 soles en papier, — il en résulte un bénéfice de 30 soles par opération.

Le cirque pris pour exemple peut faire 7 opérations analogues par an.

La valeur du sole du Pérou est de 5 francs.

Situation actuelle de l'industrie. — « Pour juger avec exactitude l'état actuel de l'industrie de l'argent au Cerro de Pasco, il faut d'abord se faire une idée de ce qu'elle était autrefois. A cet effet, consultons la statistique de la production de métal fin qui a été relevée chaque année avec précision à la « Fusion des Barres ».

ANNÉES.	MARCS fondus.	ANNÉES.	MARCS fondus.	ANNÉES.	MARCS fondus.	ANNÉES.	MARCS fondus
1784	68.208	1808	243 295	1832	219.378	1856	218.356
1785	73.455	1809	285.731	1833	257.069	1857	201.207
1786	109.100	1810	240.220	1334	267.126	1858	202.825
1787	101.162	1811	251.317	1835	276.744	1859	203.445
1788	120.046	1812	180.061	1836	244.404	1860	194.350
1789	121.413	1813	180 897	1837	235.896	1861	232.854
1790	117.996	1814	192.267	1838	251.932	1862	201.500
1791	123.789	1815	156.719	1839	279.620	1863	204.493
1792	183.598	1816	175 993	1840	307.213	1864	223.812
1793	234.492	1817	145.209	1841	396 118	1865	175.791
1794	291.253	1818	167 528	1842	387.919	1866	217.228
1795	279.621	1819	190 427	1843	325.428	1867	205.261
1796	277.553	1820	312 931	1844	274 602	1868	217.230
1797	242.948	1821		1845	251.039	1869	208.945
1798	271.861	1822		1846	281.011	1870	203.883
1799	228 356	1823	(*)	1847	245.307	1871	200.133
1800	281.481	1824		1848	272 994	1872	201.066
1801	237.436	1825		1849	229.889	1873	183.355
1802	263.906	1826	166.118	1850	239.548	1874	177.942
1803	283.191	1827	221.501	1851	235.702	1875	169.679
1804	320 508	1828	201 501	1852	218.558	1876	169.878
1805	306.050	1829	99.835	1853	288.423	1877	178.449
1806	101 193	1830	99.261	1854	202.695	1878	159.620
1807	242.031	1831	155.134	1855	257.928		

(*) La production de ces cinq années est inconnue.

« Assurément la comparaison de la production de ces dernières années avec celle des précédentes est affligeante, et l'on peut dire que, depuis quelques années, la production va en diminuant d'une manière continue : après avoir dépassé souvent 300.000 marcs, elle tombe en 1878 à 150.000. Nous sommes obligés d'avouer que, malgré les conditions commerciales, qui n'ont jamais été aussi favorables qu'actuellement, jamais, depuis de longues années,

l'industrie ne s'est trouvée dans un tel état de décadence.

« Selon toutes probabilités, on pense que la production de cette année (1879) s'améliorera un peu. Mais doit-on s'en réjouir? Nous pensons que non, car les principales causes de cet abaissement graduel dans le rendement de chaque année existent d'une manière permanente, tandis que celles qui ont produit une légère augmentation en 1877 étaient accidentelles et provenaient simplement de la prime extraordinaire de l'argent sur les billets de banque.

« Ensuite nous ne devons pas trop tenir compte de l'état des choses, car la période qui exerce une si funeste influence sur les intérêts généraux du pays ne présente pas une amélioration notable pour la vitalité industrielle du Cerro. Les causes de cet état de décadence, si regrettable, et démontré par la statistique, persistent constamment, attendu que l'abaissement s'accentue chaque jour. »

Causes générales de cet état de choses. — Sans entrer dans les détails de ces causes ni des remèdes que propose M. du Chatenet, nous résumerons les inconvénients principaux des procédés suivis.

1° Imperfection notoire des travaux d'extraction.

2° Transport dispendieux de l'orifice des mines aux ateliers. Éloignement de ces ateliers, motivé par l'emploi de la force hydraulique.

3° Concassage à la main fort cher.

4° Broyeurs discontinus et insuffisants au point de vue de la production et de l'installation elle-même.

5° Défauts inhérents au procédé des patios : cherté du sel, du mercure provenant de l'étranger malgré l'existence de mines de cinabre fort riches au Pérou. Importance de la perte en mercure et en argent, inhérente au procédé lui-même. Les principales réactions sont : 1° chloruration de l'argent, elle est fort imparfaite, la plus grande partie

de l'argent reste à l'état métallique et ne pourra s'amalgamer que par le simple contact avec le mercure; 2° quand on n'ajoute pas de magistral, l'argent des chlorures se précipite par l'action du mercure seulement, et elle est fort lente; le mercure agit d'abord sur les sels du magistral, en les faisant passer au minimum ; les sels ont alors une action réductrice puissante sur le chlorure d'argent, pour précipiter l'argent, qui, se trouvant à l'état naissant, est dans de bonnes conditions pour l'amalgamation; les sels du magistral repassent de nouveau au maximum. Par suite, on voit que l'amalgamation de l'argent chloruré ne peut avoir lieu sans qu'une partie du mercure se chlorure et se perde. Les réactions se passent à l'air, dont l'action est contraire à celle du mercure. Lenteur des opérations.

6° Esprit routinier des populations. Irrégularité du travail des Indiens ; — ce n'est que vers le mercredi ou le jeudi de la semaine, que les ateliers marchent, etc.

Industries accessoires. — 1° *Traitement des galènes argentifères.* — On perd tout le plomb pour retirer l'argent dans une coupellation grossière pratiquée depuis fort longtemps par les Indiens. On emploie un réverbère alimenté par la *taquia*, combustible formé par la fiente desséchée des animaux. — Ce travail se fait avec de grandes pertes.

6° *Fabrication du magistral.* — A Pasco, cette industrie ne se trouve pas dans les mêmes conditions qu'au Mexique, où l'on traite beaucoup plus de chlorures et de sulfures d'argent. A Pasco, le magistral est presque exclusivement employé pour guérir le refroidissement.

Grillage des pyrites au réverbère, au combustible animal; on charge 25 arrobes, plus 12 arrobes de sel ajoutés à la fin de l'opération.

L'opération dure 36 heures. On porte la masse au rouge sombre, en faisant des soulèvements au ringard de temps en temps; on évite de fondre la masse. Le travail nécessite la

présence continue de deux ouvriers ; le premier est chargé de surveiller l'opération, le second est employé à alimenter le feu ; le combustible, étant fort léger, se consume très vite. — Prix de l'opération, 18 soles.

Analyse du magistral de Pasco.

Partie soluble dans l'eau.	Sulfate de cuivre	9,75	18,85 p. 100
	Sulfate de fer	1,14	
	Chlorure de sodium	3,36	
	Acide sulfurique en excès.	4,60	
Partie insoluble.	Oxyde de cuivre.	1,50	81,15 p. 100
	Peroxyde de fer	44,92	
	Oxyde de plomb	3,78	
	Acide sulfurique combiné au plomb et au fer. . .	2,80	
	Silice et autres matières.	28,15	
		100,00	

L'énergie du magistral dépend de sa teneur en cuivre, et ce n'est guère que la partie soluble qui agit dans le traitement, déduisant le sel qui n'a aucune action ; ici, on voit qu'il n'y a guère 15,5 p. 100 de la matière qui a une action utile.

Dans ces conditions, il vaudrait mieux supprimer cette fabrication et acheter du sulfate de cuivre, qui équivaut à un poids décuple de magistral.

3° *Houillères.* — On compte 64 mines, dont 28 en exploitation et 36 arrêtées. Ces houilles sont légères, anthraciteuses.

Actuellement elles ont une production insignifiante, et malgré les avantages que le combustible pourrait procurer aux autres industries, on ne s'est pas encore fixé sur la vraie valeur de ces richesses minérales.

Paris, le 3 décembre 1880.

NOTICE

SUR

UNE SOUPAPE DE SURETÉ

DE

M. TH. ADAMS, DE MANCHESTER,

Par M. VICAIRE, ingénieur des mines.

M. Thomas Adams, de Manchester, ayant appelé l'attention de M. le Ministre des travaux publics sur une soupape de sûreté à ressorts, de son invention, et deux de ces soupapes ayant été installées à titre d'essai sur une locomotive du chemin de fer du Nord, j'ai été chargé de les examiner et d'en faire l'objet d'un rapport.

Le comité de l'exploitation technique des chemins de fer a pensé que les faits constatés dans ce rapport offraient assez d'intérêt pour mériter d'être portés à la connaissance des lecteurs des *Annales des mines*.

On sait que les soupapes de sûreté généralement en usage présentent ce grand inconvénient que, dès qu'elles commencent à se soulever, la pression sur la surface interne de l'obturateur diminue par le fait de l'écoulement de la vapeur, et la soupape tend à se refermer. Pour qu'elle reste soulevée, il faut que la pression dynamique sur cette surface, c'est-à-dire la pression qui subsiste pendant l'écoulement du fluide, soit égale à la pression statique qui avait commencé le soulèvement. Cela suppose une pression dans la chaudière supérieure à cette pression statique, et la surpassant d'autant plus qu'on veut un soulèvement plus

considérable. Ainsi la surface annulaire par laquelle la vapeur s'échappe ne peut devenir notable qu'à la condition que la pression dans la chaudière s'élève bien au-dessus de celle à laquelle la soupape commence à souffler.

On se trouve donc en présence de deux conditions jusqu'à un certain point contradictoires; on ne peut obtenir l'écoulement de vapeur désiré qu'en déterminant dans la chaudière l'augmentation de pression que précisément on a en vue de combattre.

Quand la soupape est chargée par un ressort, comme dans les locomotives, la difficulté s'accroît par ce fait qu'à mesure que la soupape se soulève, tandis que la pression motrice diminue, la charge sur l'obturateur augmente par la tension du ressort.

Diverses combinaisons mécaniques ont été proposées depuis assez longtemps déjà, pour obtenir un effet inverse de ce dernier, c'est-à-dire pour faire que la charge diminue à mesure que la soupape se soulève. On comprend que, si le mécanisme est disposé de manière à réaliser une décharge considérable pour un très petit déplacement de l'obturateur, on puisse obtenir ainsi le résultat cherché.

Cependant il ne paraît pas qu'aucune de ces combinaisons se soit répandue jusqu'à présent.

M. Adams est parti d'un principe différent. Pour tenir la soupape soulevée, il a songé à utiliser la force vive de la vapeur qui s'écoule, et c'est ce qu'il obtient de la manière la plus simple. Il lui suffit pour cela de disposer autour de l'obturateur, et faisant corps avec lui, un rebord contre lequel vient frapper la vapeur en mouvement. De la sorte, à mesure que la soupape se soulève et que sa surface interne, primitivement en contact avec la vapeur, se trouve moins pressée, une compensation s'établit aussitôt par la pression qui résulte du choc de la vapeur contre ce rebord.

Afin de mieux diriger la veine fluide contre ce rebord,

M. Adams donne à la surface interne de l'obturateur la forme d'un cône renversé. Sur ce cône sont implantées comme d'habitude les ailettes directrices.

Telle est essentiellement l'invention de M. Adams (*). Il l'a complétée par un mode de chargement de la soupape différent de celui qui est généralement usité. Il emploie

---

(*) Bien entendu, il n'est pas question ici de certifier la priorité de l'invention. M. Adams annonce qu'il s'est rendu acquéreur d'un brevet américain de M. Richardson qui est, paraît-il, plus ou moins analogue au sien, ainsi que des brevets de Caldwell et de Giles pour des soupapes de sûreté à ressort.

On nous signale comme antérieure la soupape « à son aigu » d'Ashcroft, qui se trouve décrite notamment dans le journal anglais *the Engineering* du 30 mai 1873. La *fig.* 11, Pl. II, extraite de ce journal, permet de juger de l'analogie que cette soupape présente avec celle de M. Adams. Outre la gouttière renversée à section rectangulaire qui entoure l'obturateur, elle présente une seconde gouttière droite autour du siège, de sorte que les filets de vapeur sont obligés de s'infléchir deux fois avant de s'échapper définitivement. L'utilité de cette seconde gouttière paraît très douteuse.

D'après l'*Engineering*, une soupape Ashcroft de $0^m,1778$ se lève de $0^m,00953$.

M. Adams, dans son brevet français du 22 juillet 1877, revendique comme appartenant à son invention les proportions données aux différentes pièces de la soupape. La *fig.* 9, Pl. II, donne le profil de la gouttière d'après la demande de brevet, et les proportions indiquées sont les suivantes :

La levée de la soupape est $\frac{1}{24}$ de son diamètre. Le pan coupé A du siège fait un angle de 36° avec l'horizontale et la normale en E au rebord, un angle de 22° avec l'arête de ce pan coupé.

Le rapport des sections en AB et en CD est tel que

$$\text{section CD} = \text{section AB} \times \frac{R'V'}{RV}.$$

R, volume de la vapeur à la pression de la chaudière rapporté à celui de l'eau.

V, vitesse d'écoulement dans le vide à cette pression.

R', volume relatif de la vapeur à la pression de $1^{atm},815$.

V' vitesse d'écoulement dans le vide à la pression de $0^{atm},815$.

Les dessins envoyés par M. Adams au ministère et reproduits Pl. II, *fig.* 5 à 8, donnent à la gouttière un profil peu différent d'un demi-cercle.

toujours des ressorts, même pour les machines fixes, et ces ressorts agissent directement sur l'obturateur au lieu d'agir par l'intermédiaire de leviers.

Jusqu'à quel point la disposition que nous venons de décrire permet-elle d'obtenir le résultat cherché, c'est ce que l'expérience seule peut faire connaître, de même que seule elle a pu indiquer le meilleur profil à donner à l'obturateur.

Les *fig.* 5, 6 et 7, Pl. II, représentent la soupape elle-même et la disposition d'ensemble généralement adoptée par M. Adams pour les locomotives. La gouttière renversée que forme autour de l'obturateur le rebord caractéristique a un profil en demi-cercle de 10 millimètres et demi de diamètre.

M. Adams a observé les pressions qui se produisent en différents points de son appareil lors du fonctionnement, et voici les résultats qu'il indique :

	PRESSION AU MOMENT OU LA SOUPAPE			
	SE LÈVE		S'ABAISSE	
	par centimètre carré.	totale.	par centimètre carré.	totale.
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
Dans la chaudière.	10,54	333,8	10,47	331,6
Sur le fond de la gouttière.	2,8	70,7	0,7	17,7
Dans la chaudière.	7,03	222,6	6,96	220,4
Sur le fond de la gouttière.	1,76	44,4	0,7	17,7

Les pressions totales ont été calculées au moyen des surfaces, qui sont $31^{cm^2},67$ pour l'orifice de la soupape, et $25^{cm^2},24$ pour la projection horizontale de la surface annulaire de la gouttière, en admettant d'ailleurs que la pression exercée sur le fond de la gouttière soit uniforme, ce qui ne peut être qu'approximativement exact.

En admettant l'exactitude de ces données, on voit que l'action de la vapeur sur le rebord annulaire représente une force disponible pour soulever l'obturateur qui ne s'élève pas à moins de 70^{kg},7 quand la pression intérieure est de 10^{kg}500 et de 44^{kg},4 quand elle est de 7 kilogrammes. — La fermeture se produit au moment où, par la réduction de la vitesse d'écoulement, cet effort se réduit à 17^{kg},7.

Le rebord contre lequel frappe la vapeur vient se terminer tout près de l'arête de la paroi métallique qui entoure le siège de la soupape, de façon que la vapeur ne peut s'échapper de l'intérieur de la gouttière que par un orifice annulaire très étroit. Cette circonstance n'est sans doute pas sans influence sur le mode de fonctionnement de l'appareil.

Les deux soupapes sur lesquelles ont porté mes observations étaient du modèle de 63 millimètres (2 1/2 pouces anglais de diamètre) (*). Elles avaient été installées sur la machine n° 4424, du Nord. Voici, au point de vue de la production de la vapeur, les éléments de cette machine :

Grille.	Longueur	2^{m},000
	Largeur	0^{m},969
	Surface	1^{mq},930
Tubes.	Nombre	232
	Longueur à l'intérieur des plaques	3^{m},600
	Diamètre extérieur	0^{m},045
Surface de chauffe.	Du foyer	8^{mq},50
	Des tubes à l'intérieur	107^{mq},40
	Surface totale	115^{mq},90
Capacité de la chaudière.	Eau	3^{mc},500
	Vapeur	1^{mc},700
Tension de la vapeur en kilogrammes		8^{k},500

(*) M. Adams indique comme proportion convenable une surface de valve de 17^{cq},5 par mètre carré de grille lorsqu'il y a deux soupapes. Ici nous n'avons que 16^{cq},1. Avec une seule soupape il faudrait 35 centimètres carrés par mètre carré de grille.

La machine étant au repos, le régulateur fermé, on activait la combustion le plus possible au moyen du souffleur, puis on fermait celui-ci pour que la vapeur n'eût pas d'autre issue que les soupapes, et l'on attendait le soulèvement : quand l'écoulement de vapeur avait cessé, on ouvrait de nouveau le souffleur pour maintenir le feu en grande activité et l'on recommençait l'expérience. Elle a toujours donné les résultats suivants :

Quand le manomètre marquait une pression de 8 kilog. 3/4, la soupape se soulevait brusquement et donnait issue à la vapeur. Immédiatement la pression se réduisait à 8 kilog. 5/8. L'aiguille manométrique descendait alors lentement, et lorsqu'elle arrivait aux environs de 8 kilog. 3/8, la soupape se refermait et la vapeur cessait de couler.

La durée de l'écoulement de vapeur a varié de 60 à 65 secondes.

D'après l'observation d'un ouvrier monté sur la chaudière la soupape se lève d'environ 2 millimètres.

On voit que la soupape laissait monter la pression à environ 1/4 de kilogramme au-dessus du numéro du timbre ; mais cela tenait uniquement au réglage du ressort de charge ; en serrant ou en desserrant un peu les écrous qui le tiennent en place, on fait varier à volonté la pression maximum. Ce qui précède montre que lorsque la pression ainsi déterminée est atteinte, la soupape entre immédiatement en fonction et produit un abaissement instantané de la tension de la vapeur. La tension continue ensuite à baisser lentement : la soupape débite donc plus de vapeur que la chaudière n'en produit. Lorsque l'abaissement a atteint 3/8 de kilogramme à partir du maximum initial, la soupape se ferme et la pression peut alors s'élever de nouveau jusqu'au maximum.

Je dis la soupape, car en général il n'y en a qu'une qui ait fonctionné, sur les deux que portait la chaudière. Il est presque impossible de régler les ressorts d'une façon telle

ment égale que les obturateurs se soulèvent à la fois. Dans une seule expérience on était arrivé, à force de tâtonnements, à obtenir ce résultat; mais l'une des soupapes se ferma bien avant l'autre, et l'égalité ne se maintint pas dans les expériences qui furent faites aussitôt après.

On voit clairement que cela même prouve l'efficacité de l'appareil, puisque, si faible que soit la différence des charges, dès que la soupape la moins chargée a commencé à fonctionner, la pression ne peut plus s'élever assez pour soulever l'autre. C'est d'accord avec ce que nous avons dit de l'abaissement instantané de la pression au moment où l'échappement commence.

En définitive, une seule soupape de 63 millimètres suffit pour maintenir rigoureusement la pression au-dessous de 8 kilog. 3/4; dès qu'elle fonctionne, elle détermine un abaissement instantané de la pression, et cet abaissement atteint un maximum de 3/8 de kilogramme ou $0^{kg},375$ dans l'espace d'environ une minute.

D'après les prospectus communiqués par M. Adams, la différence entre le maximum et le minimum ne devrait pas dépasser $0^{kg},14$ et l'intervalle entre l'ouverture et la fermeture serait de 30 secondes. Il est évident que cette durée doit dépendre essentiellement de la puissance de vaporisation de la chaudière et du diamètre de la soupape; quant à la différence des pressions extrêmes elle doit dépendre avant tout de la forme de l'obturateur, mais peut-être aussi de la pression de la vapeur.

Nos lectures, faites sur le manomètre ordinaire de la chaudière, ne donnaient pas une grande précision, cependant l'erreur qu'elles comportent n'est certainement pas suffisante pour ramener l'intervalle des pressions extrêmes au chiffre donné par l'inventeur.

Quoi qu'il en soit de cette circonstance secondaire, il est incontestable qu'au point de vue de l'échappement de la vapeur la soupape de M. Adams réalise d'une façon remar-

quable les conditions d'une véritable soupape de sûreté. Elle est certainement très supérieure sous ce rapport aux soupapes ordinaires.

Un point important à noter, c'est la précision de son jeu, et cette précision doit tenir en partie à la suppression des leviers de transmission de la charge. Ces leviers ne sont pas toujours construits avec la précision convenable; en outre la résistance que présentent nécessairement les articulations donne à leur jeu une certaine paresse qui est sensible surtout dans les soupapes à ressort des locomotives.

Un avantage accessoire de la charge directe par les ressorts, c'est qu'elle permet de placer la soupape en un point quelconque de la chambre de vapeur, hors de la portée du mécanicien, l'axe pouvant même être incliné à volonté.

On a signalé, au point de vue pratique, un inconvénient de cette disposition; c'est que si le ressort vient à casser, on ne peut pas condamner la soupape comme on le fait avec les soupapes à leviers, et le mécanicien n'a d'autre ressource que de jeter son feu. C'est un inconvénient qu'il serait facile d'éviter en disposant un obturateur qui permettrait d'intercepter en pareil cas l'écoulement de la vapeur. Mais il est lié à un avantage précieux au point de vue de la sécurité : c'est que le mécanicien n'a pas la possibilité de caler la soupape comme avec les leviers. Du reste M. Adams a une disposition qui permet à la soupape de fonctionner encore même après la rupture du ressort.

Les ressorts qu'il emploie sont des ressorts à boudin. Le plus souvent le ressort est à découvert, guidé simplement par une tige qui le traverse suivant l'axe et dont l'extrémité inférieure vient presser l'obturateur de la soupape. Mais on peut l'enfermer dans une boîte cylindrique qui, en cas de rupture, maintient les fragments en place et permet au ressort de continuer à fonctionner (Pl. II, *fig.* 8).



La bonne qualité des ressorts a une importance essentielle. M. Adams les construit lui-même. Dans une note jointe au dessin, il donne quelques indications, avec un dessin à l'appui, sur la détermination des dimensions.

Voici les règles qu'il indique (*Voir* Pl. II, *fig.* 10) :

Tracez un angle CAD de 15°, et sur la bissectrice AB de cet angle, prenez un point O quelconque, menez la perpendiculaire JOK à cette bissectrice. Divisez OK en trois parties égales, et du point O comme centre avec un rayon OL égal aux 2/3 de OK, décrivez une demi-circonférence. Du point H, avec un rayon égal à OL, décrivez un arc de cercle qui coupe la demi-circonférence en E, et tracez le rayon OE et les perpendiculaires EF, EG. EF, sinus de l'angle EOL, représente le côté du carré de la barre d'acier à employer; EG, cosinus de ce même angle, représente le pas du ressort et la treizième partie de OA; OE représente la flexion du ressort sous une charge égale à 1/6 de sa charge de rupture.

En résumé la soupape proposée par M. Adams offre une disposition très ingénieuse et semble réaliser un progrès remarquable dans la construction de ces appareils de sûreté. Une expérience prolongée révélera seule les avantages et les inconvénients pratiques qu'elle peut offrir indépendamment du mode d'écoulement de la vapeur.

S'il est vrai, ainsi que l'annonce l'inventeur, que, dans l'espace de quatre ans, la marine royale britannique, la marine marchande et les chemins de fer ont déjà installé onze mille de ces soupapes, c'est la meilleure preuve que les avantages ont été reconnus considérables.

Nous regardons comme désirable que cette soupape se répande rapidement en France, au moins à titre d'expérience sur une grande échelle.

La Compagnie des chemins de fer d'Orléans, de son côté, a fait l'essai d'une soupape à charge directe par ressort, mais avec un obturateur ordinaire. Les résultats de

cet essai, rapportés dans la note ci-après de M. l'ingénieur des mines Zeiller, offrent une comparaison intéressante avec ceux que donne la soupape Adams. Ils mettent bien en évidence l'effet de la gouttière renversée.

Il résulte de cette comparaison que si la charge directe a pour effet de donner plus de précision au jeu de la soupape, qui se lève franchement lorsque la pression atteint la valeur déterminée par le réglage, elle ne suffit pas pour empêcher que la pression ne s'élève encore, à partir de ce ce moment, d'environ un demi-kilogramme. Rien de semblable n'a lieu avec la soupape Adams, qui produit, au contraire, un abaissement instantané de la pression. L'effet de la gouttière semble donc incontestable.

Note sur les soupapes à ressort direct de la Compagnie d'Orléans. — Les soupapes de sûreté à ressort direct ont commencé à être employées par la Compagnie d'Orléans dès la fin de 1875 : à cette époque quelques machines furent pourvues de soupapes chargées au moyen d'un ressort à boudin à axe vertical agissant sur le milieu d'une barre horizontale portant un pointeau à chacune de ses extrémités : le ressort était fixé entre les deux soupapes qui, en raison de l'égalité des deux bras de la barre, devaient supporter le même effort; mais ce système n'ayant pas donné de bons résultats, l'on essaya dès le milieu de 1876 des soupapes indépendantes chargées chacune directement.

Pour ne pas être obligé de donner au ressort une section trop considérable, le diamètre des soupapes, qui dans le système à levier est habituellement de $0^{m},110$, fut réduit à $0^{m},080$. Les premiers essais furent faits sur des ressorts à dix tours de spire qui donnèrent déjà d'excellents résultats, comparés aux soupapes à levier ordinaires : celles-ci n'ayant qu'une levée réelle de $0^{mm},75$, égale seulement aux 0,30 de la levée théorique, pour une augmentation de pression de 1 kilog. au-dessus du timbre, les soupapes à ressort direct accusèrent une levée de $1^{mm},40$ égale aux 0,70 de la levée calculée.

La section d'évacuation correspondant à cet accroissement de pression se trouvait ainsi de $0^{mq},000352$, tandis que pour les sou-

papes à levier, à orifice plus grand, elle n'était que de $0^{mq},000259$.

L'expérience montra en outre que les soupapes ainsi établies étaient beaucoup plus sensibles que les soupapes à levier : elles se levaient exactement dès que la pression atteignait le numéro du timbre et retombaient sur leur siège aussitôt qu'elles redescendaient à ce chiffre, alors que les soupapes à levier restaient toujours fort en retard, pour se lever d'abord, et ensuite pour se refermer, par suite de la résistance des articulations.

Dans le but d'obtenir une levée réelle plus forte encore, la Compagnie d'Orléans construisit à la fin de 1876 des soupapes chargées par un ressort à 16 tours de spire, qui devait offrir une plus grande flexibilité : c'est le type auquel elle s'est arrêtée, et qui est représenté par le dessin reproduit Pl. II, fig. 12, dont l'examen suffit à faire comprendre la disposition du système. La charge étant réglée en faisant tourner dans le sens convenable la tige filetée qui traverse l'écrou supérieur et s'appuie sur la soupape, on coiffe la tête de cette tige avec un chapeau en cuivre, dont on fixe la position au moyen d'une goupille poinçonnée. Les essais de ces ressorts à 16 spires, faits le 3 mars 1877 sur la machine n° 264, donnèrent les résultats suivants : les quatre soupapes de ce type placées sur cette machine se levèrent exactement à la pression de 8 kilog., pour laquelle elles étaient réglées et retombèrent de même dès qu'on revint à ce chiffre. La levée calculée étant de $0^{m},0033$, la levée réelle varia de $0^{m},0016$ à $0^{m},0019$ et fut en moyenne de $0^{m},0017$, c'est-à-dire égale à 2,27 fois la levée des soupapes à balances, donnant ainsi, pour chaque soupape de $0^{m},080$ de diamètre, une section d'évacuation de $0^{mq},000427$. En poussant le feu aussi activement que possible, et en n'utilisant pas les soupapes à balances, on ne put élever la pression au delà de $8^{kg},5$, c'est-à-dire 1/2 kilog. au dessus du chiffre de réglage, la machine étant d'ailleurs au repos et ne consommant pas de vapeur.

Depuis lors toutes les nouvelles machines ont été munies, outre les deux soupapes à balances ordinaires, d'une de ces soupapes à ressort direct.

On compte même ne plus employer désormais que celles-ci : en raison de leur moindre diamètre et pour obtenir la même section totale qu'avec les anciennes soupapes, chaque machine en portera quatre, réunies deux par deux sur deux dômes différents, de manière à éviter l'entraînement d'eau que pourrait occasionner un appel trop vif si elles étaient rapprochées toutes en un seul groupe.

En dehors du mode de chargement, c'est-à-dire pour la forme

même du clapet, ces soupapes ne diffèrent pas du type usité jusqu'ici; mais la Compagnie d'Orléans vient de mettre récemment à l'essai, sur la machine n° 270, une soupape du type Ashcroft munie sur son pourtour d'une gorge à section rectangulaire; la soupape de M. Adams doit également être essayée.

EXPLICATION DES FIGURES.

(Planche II.)

Fig 5. — Coupe de la soupape Adams.

Fig. 6 et 7. — Coupe et plan d'ensemble d'un système de deux soupapes à ressorts libres et à tiges centrales, pour locomotives.

Fig. 8. — Soupapes à ressort enfermé pour locomotives.

Fig. 9. — Coupe de la gouttière renversée d'après le brevet français du 22 juillet 1877. — On voit par la *fig.* 5 que l'inventeur paraît avoir adopté actuellement un profil en demi-cercle.

Fig. 10. — Construction géométrique pour la détermination du ressort.

Fig. 11. — Soupape « à son aigu » d'Ashcroft, d'après l'*Engineering* d 30 mai 1873.

Fig. 12. — Plan, coupe et élévation de la soupape à ressort direct de la Compagnie d'Orléans.

ÉTUDE
SUR
LA MESURE EXACTE DES HAUTES PRESSIONS
ET SUR LE FROTTEMENT DES CUIRS EMBOUTIS DES PRESSES HYDRAULIQUES

APPLICATION A LA CONSTRUCTION DES MACHINES A ESSAYER LES MÉTAUX

Par M. GEORGES MARIÉ, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur au chemin de fer de Lyon.

INTRODUCTION.

La presse hydraulique fut inventée, comme on le sait, par Pascal; depuis cette époque elle est universellement employée dans les machines qui doivent exercer de grands efforts; depuis une trentaine d'années les presses hydrauliques ont été souvent employées dans la construction des machines à essayer les métaux, où l'on se propose d'exercer des efforts considérables et d'en avoir en même temps une mesure exacte.

Vers 1848, M. Marié, mon père, alors ingénieur du matériel fixe de la Compagnie de Lyon fit construire dans les ateliers de M. Cavé, pour la forge de Commentry, une machine à essayer les rails à la flexion ; cette machine était munie de deux couteaux fixes sur lesquels venaient s'appuyer les extrémités de la fraction de rail soumise à l'essai ; le bout de rail essayé était soumis, en son milieu, à un effort

produit par le piston d'une presse hydraulique; on mesurait la valeur de l'effort en faisant le produit de la pression de l'eau par la surface du piston; la mesure de la pression était donné par un manomètre métallique ordinaire; l'effort produit par le piston pouvait varier de zéro à 100 tonnes.

Mais la mesure des efforts laissait à désirer : d'abord on ne possédait encore aucun appareil permettant de mesurer exactement les grandes pressions; de plus, la valeur du frottement des cuirs emboutis n'étant pas connue, on n'en tenait pas compte. Cette machine d'essai fut bientôt abandonnée : M. Marié en construisit une autre où la mesure des efforts est faite directement par un système de leviers pouvant mesurer des efforts de 0 à 100 tonnes. Cette machine est en même temps disposée de manière à faire les essais de métaux par traction directe, de zéro à 100 tonnes. Plusieurs machines ont été construites sur ce modèle pour les forges du Creusot, de Bességes et de Terre-Noire; elles sont employées encore aujourd'hui pour les essais des éprouvettes de métal à la traction. Ces machines ont toute la précision d'une bascule ordinaire, c'est-à-dire que l'erreur sur la mesure est notablement inférieure à $\frac{1}{1.000}$ de l'effort maximum. Depuis cette époque on a construit un grand nombre de machines d'essai de ce genre, dites « machines d'essai à leviers »; elles sont à présent employées, surtout en Angleterre et aux États-Unis, de préférence à toutes les autres machines d'essai.

La marine française, de son côté, interdit depuis longtemps l'emploi des machines d'essai où la mesure de l'effort s'obtient par la mesure de la pression de l'eau de la presse, à cause de l'incertitude de la mesure de l'effort.

Dans ces dernières années, M. Thomasset et le colonel Maillard ont construit en France des machines d'essai basées sur un principe tout différent; dans ces machines,

l'effort est transmis à un plateau métallique qui, par l'intermédiaire d'un diaphragme, comprime un liquide emprisonné dans un espace fermé ; la pression du liquide est mesurée par un manomètre et la valeur de l'effort est obtenue en faisant le produit de la pression par la surface du plateau.

Les deux systèmes de machines de M. Thomasset et du colonel Maillard, bien que basées sur le même principe, diffèrent totatement par le détail.

Dans la machine de M. Thomasset l'effort est réduit au cinquième de sa valeur par un levier, avant d'être transmis au plateau ; la surface du plateau est assez grande pour que la pression du liquide emprisonné ne soit pas supérieure à 3 ou 4 kilog. par centimètre carré, ce qui permet de la mesurer au moyen d'une colonne de mercure à air libre. Cette machine est moins précise et moins sûre que les machines à leviers ; elle a, d'ailleurs, comme ces dernières, le premier levier dont les couteaux supportent la pression totale, et qui seul présente une difficulté de construction ; les autres leviers qu'elle supprime ne présentent aucune difficulté. L'indication des pressions se fait automatiquement par le mercure qui s'élève dans le tube à côté de l'échelle ; c'est une facilité pour la manœuvre dans les essais, mais la lecture du mercure sur l'échelle ne laisse aucune trace et ne permet aucune vérification ; si l'opérateur a un moment d'inattention lors de la rupture de l'éprouvette, l'essai est à recommencer.

Dans la machine du colonel Maillard, l'effort s'exerce *directement* sur un plateau qui diffère beaucoup de celui de M. Thomasset, mais le principe est le même ; comme dans cette dernière machine, la précision n'est obtenue que si la machine est réglée avec soin de façon à éviter les déplacements trop grands de la membrane et le coincement des pièces métalliques. En outre, la pression du liquide emprisonné est beaucoup trop élevée pour permettre l'emploi

du manomètre à air libre ; aussi emploie-t-on soit des manomètres métalliques, appareils qui, jusqu'à ce jour, ont été très mal gradués, soit des manomètres à pistons différentiels, appareils le plus souvent dépourvus de toute sensibilité, comme nous le verrons plus loin (*).

En 1875, M. Marié, actuellement ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie P.-L.-M, fit établir un atelier d'essais de matériaux avec l'aide de M. Lebasteur, ingénieur chargé du contrôle ; il fit construire deux machines d'essai à leviers d'une puissance de 100 tonnes, sur un modèle analogue à son ancienne machine à leviers. Ces deux machines peuvent, comme la première, exercer et mesurer des efforts de 0 à 100 tonnes ; l'une des deux est disposée pour essayer des éprouvettes métalliques ; l'autre sert à essayer des câbles et des chaînes, jusqu'à une longueur de 30 mètres.

Depuis longtemps, on a reconnu qu'il valait mieux essayer les pièces elles-mêmes que d'essayer des éprouvettes découpées dans les pièces ; c'est un procédé moins dispendieux et plus sûr. Mais on se heurte à une nouvelle difficultés : c'est la nécessité d'avoir des machines d'essai allant bien au delà de 100 tonnes ; si, par exemple, on veut rompre des bandages en les comprimant aux deux extrémités d'un diamètre, l'expérience montre qu'un effort de 100 tonnes est loin de suffire ; il faut avoir à sa disposition un effort de 500 tonnes. Or il est assez difficile de construire des machines à leviers pour des efforts aussi considérables. M. Kirkaldy, à Londres a construit, il est vrai, des machines à leviers à 500 tonnes, mais ce sont des machines très-coûteuses. Les systèmes de M. Thomasset et du colonel Maillard offriraient les mêmes inconvénients que pour les machines à 100 tonnes ; aussi ont-elles été écar-

---

(*) Voir, pour plus de détails, l'ouvrage de M. Lebasteur sur « les métaux à l'Exposition universelle de 1878 ».

tées. C'est alors que M. Marié eut l'idée de revenir à sa première machine construite en 1848, et de mesurer l'effort au moyen de la pression de l'eau du cylindre hydraulique. Il nous chargea d'étudier les deux points qui lui avaient fait abandonner cette machine, savoir :

1° La mesure exacte des hautes pressions;

2° L'évaluation du frottement des cuirs emboutis des presses hydrauliques.

Pour la mesure des hautes pressions, M. Marié nous fit essayer d'abord le manomètre à pistons différentiels de M. Galli-Cazalat, mais il fallut y renoncer à cause de son défaut de sensibilité ; il songea ensuite au manomètre à air libre, récemment inventé par M. Cailletet. Un appareil de ce genre aurait été établi dans un puits de mine appartenant à la Compagnie, à la Chazotte ; il aurait servi à graduer les manomètres qu'on devait employer ensuite dans les machines d'essai.

Après quelques recherches, j'ai réussi à mesurer avec précision les pressions les plus fortes; on verra dans ce rapport la description complète du nouvel appareil, qui fonctionne très régulièrement depuis le mois de décembre 1879. En outre j'ai proposé des modifications à la construction des manomètres métalliques, pour en faire des appareils exacts et peu sujets aux dérangements. Il m'a semblé que la mesure de la pression se trouvait ainsi résolue d'une façon simple et pratique.

Pour la mesure du frottement des cuirs emboutis, j'ai fait de nombreuses expériences qui montrent que ce frottement peut être *complètement négligé dans la pratique ;* lorsque les cuirs emboutis sont bien faits, il est très facile de rendre ce frottement inférieur à $\frac{1}{500}$ de l'effort total; dans certaines circonstances il peut être réduit à $\frac{1}{1.200}$ de cet effort. Ce fait est contraire à l'opinion répandue en

France, mais il est plus conforme à l'opinion des ingénieurs anglais. Nous devons même ajouter que Sir Joseph Witworth a employé, dans ces dernières années, une machine d'essai où la mesure de l'effort se calcule au moyen de la pression de l'eau de la presse, en négligeant le frottement des cuirs.

Mes recherches ayant montré qu'on peut mesurer exactement la pression de l'eau et négliger le frottement des cuirs, on peut donc construire des machines d'essai se composant d'une simple presse hydraulique, tout en ayant la mesure exacte de l'effort. Au moins d'août dernier, j'ai présenté à la Société des ingénieurs mécaniciens de Londres la soupape dont on trouvera la description plus loin; les expériences sur le frottement des cuirs emboutis ont été faites depuis lors.

PREMIÈRE PARTIE.

MESURE DES PRESSIONS.

Description sommaire des divers manomètres employés jusqu'à ce jour.

Le manomètre le plus répandu, pour mesurer les hautes pressions, est, sans contredit, le manomètre métallique. Cet appareil jouit d'une grande sensibilité ; il est peu coûteux; ses indications ne sont pas altérées par les variations de température. Par contre il ne peut pas être gradué directement; sa graduation doit être faite par comparaison avec un manomètre d'un autre système pouvant être gradué directement par le calcul. Nous avons cherché quel était le meilleur procédé de graduation des manomètres à haute pression, afin de pouvoir faire fréquemment, dans nos

ateliers, la vérification des manomètres que nous avons l'intention d'employer pour les machines d'essai.

Lorsqu'on compare les manomètres métalliques provenant des meilleurs constructeurs de France, d'Angleterre et d'Allemagne, on s'aperçoit qu'ils sont loin d'être d'accord, surtout pour les pressions supérieures à 50 atmosphères. Il est donc à présumer qu'il n'existe pas encore de procédé de graduation à la fois précis et pratique ; c'est ce que nous allons montrer en résumant les différents procédés employés jusqu'à ce jour pour mesurer les pressions.

1° Le manomètre le plus employé est le manomètre à air libre se composant d'un tube de verre dans lequel on peut faire monter le mercure à diverses hauteurs. Les constructeurs de manomètres métalliques n'ont jamais employé des colonnes donnant des pressions supérieures à 50 atmosphères ; au delà de cette pression ils se contentent de porter sur le cadran des divisions égales, en se basant sur ce que les déplacements de l'aiguille sont à peu près proportionnels aux pressions. En outre, la plupart des constructeurs n'ont même pas de manomètre à air libre et s'en rapportent aux indications des manomètres de quelques-uns de leurs collègues ; d'autres prennent simplement la moyenne des résultats donnés par les manomètres métalliques de diverses provenances.

On comprend que ce procédé ne nous ait pas paru satisfaisant.

2° Le manomètre à air comprimé est connu depuis longtemps ; il est défectueux pour les hautes pressions, car il s'appuie sur la loi de Mariotte qui a été reconnue inexacte, pour les hautes pressions, par M. Regnault d'abord, et par M. Cailletet.

3° Le manomètre à plusieurs branches de M. Richard n'est pas pratique pour les hautes pressions, à cause des nombreux raccords qu'il faut faire entre les tubes de verre.

4° Le manomètre à pistons différentiels de Galli-Cazalat, modifié par Desbordes, a été fréquemment employé. Il a un grave inconvénient : les diaphragmes en cuir ou en caoutchouc donnent lieu à une résistance et surtout à des frottements qui ôtent à l'appareil toute sa sensibilité.

Il est employé depuis longtemps dans tous nos ateliers pour la mesure des pressions des presses à caler les roues; nous avons fait tous nos efforts pour chercher à en tirer parti; nous avons dû y renoncer.

5° M. Cailletet, en 1877, a trouvé moyen de construire un manomètre à air libre pouvant mesurer les hautes pressions. Cet appareil, très remarquable, est d'une grande précision, mais il exige l'emploi d'un puits de mine; en outre les lectures sont longues et difficiles.

M. Amagat a modifié légèrement l'appareil de M. Cailletet et en a fait une très belle installation au puits Verpilleux, à Saint-Étienne (*).

On pourrait se servir de cet appareil pour graduer, une fois pour toutes, un manomètre métallique qui servirait d'étalon; mais les manomètres métalliques ont besoin d'être vérifiés de temps en temps, même quand on ne s'en sert que rarement.

6° Dans ces derniers temps, M. Marié, ingénieur en chef, a imaginé un nouveau procédé, dans lequel on employait une colonne de mercure de $7^{m},600$ correspondant à 10 atmosphères; deux manomètres métalliques sont placés, l'un en haut, l'autre en bas de la colonne; la graduation est faite, à partir de zéro et de 10 en 10 atmosphères, en changeant de place les deux manomètres chaque fois.

Les expériences que nous allons décrire ont fait abandonner ces différents systèmes; on trouvera plus loin la

(*) Voir les *Annales de physique et de chimie*, 5e série, t. XIX.

description de la soupape à fuite, appareil qui nous paraît à la fois simple et précis.

Emploi des soupapes pour la mesure des hautes pressions.

Emploi des soupapes de forme ordinaire. — Ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, nous n'avons rencontré jusqu'à présent aucun appareil permettant de graduer avec précision et simplicité les manomètres métalliques; il existe encore un autre procédé de graduation des manomètres, qui a été plusieurs fois tenté sans succès, c'est la graduation au moyen des soupapes; ce procédé a été essayé dans nos ateliers et a donné jusqu'à présent de très mauvais résultats; nous allons en indiquer la raison.

La soupape employée avait une forme analogue aux soupapes de sûreté des chaudières (Pl. I, *fig.* 1); on lui donnait un faible diamètre pour éviter les grands poids. Soit s la surface de la section de la soupape sur laquelle l'eau exerce sa pression; l'on charge cette soupape d'un poids P, soit directement, soit par l'intermédiaire de leviers; puis l'on fait arriver l'eau sous la soupape au moyen d'un tuyau A qui est en communication avec le manomètre métallique qu'on veut graduer; la pression de l'eau est donnée par une pompe ou mieux encore par un accumulateur ou un compresseur, appareils qui permettent d'augmenter la pression de l'eau sans à-coup. On augmente ainsi la pression jusqu'au soulèvement de la soupape; à ce moment la pression est égale à $\frac{P}{s}$; on trace sur le cadran du manomètre métallique la position de l'aiguille à ce moment; l'on obtient ainsi un point de la graduation. En faisant varier le poids P on peut obtenir autant de points qu'on veut pour la graduation du manomètre métallique.

Tel est le principe de la méthode; en pratique les résul-

tats sont mauvais : il est d'abord impossible de noter le moment précis du soulèvement de la soupape; par exemple, on remarquera que la soupape commence à se soulever à 80 kilog. par centimètre carré de pression, et n'est complètement soulevée qu'à 120 ou 130 kilog. par centimètre carré; en outre, si l'on répète plusieurs fois la même expérience, on constate que le soulèvement se fait toutes les fois dans des conditions différentes. Ce résultat s'explique comme il suit : on est obligé de donner au siège de la soupape une surface assez grande pour qu'il ne soit pas écrasé par le poids P au moment où la soupape retombe. Si je désigne par S la section de la soupape au-dessus du siège, il faut, pour les fortes pressions, que S soit environ deux fois plus grand que s, même en employant des pièces en acier très dur; la surface $S-s$ du siège est donc aussi grande que la section s de la soupape elle-même. Or, au moment où la soupape est sur le point de se soulever, l'eau pénètre sous le siège, de sorte qu'on ne sait plus si la surface d'action est égale à s ou bien à S; en pratique, c'est une sorte d'intermédiaire entre S et s; de plus, cette valeur de la surface d'action varie d'une expérience à l'autre, car l'eau ne pénètre pas toutes les fois de la même manière entre les deux surfaces en contact.

En résumé, il est impossible de faire une graduation exacte avec ce système; l'appareil est d'autant plus défectueux que la pression est plus forte, parce que, pour les hautes pressions, il faut donner au siège de la soupape une très grande surface.

On a cherché à obvier à cet inconvénient en employant une soupape conique; ce système ne vaut pas mieux que le précédent; on est encore obligé de donner à la surface de contact une importance très grande sous peine d'écraser la soupape lorsque la soupape repose sur son siège.

On a cherché à réduire les surfaces en contact en employant un siège en acier trempé et une soupape consistant

en une sphère d'agate; ce procédé n'a pas mieux réussi que les deux précédents.

En résumé, ce qui a fait échouer jusqu'à présent l'emploi des soupapes pour la mesure des hautes pressions, c'est la présence de la surface de portée, qui fait varier sensiblement le moment de la levée de la soupape.

Enfin, nous devons signaler ici une deuxième méthode, proposée par M. Marcel Deprez et exécutée par M. Bourdon; cette méthode est une application d'un principe découvert par M. Taurines, inventeur d'ingénieux appareils servant à enregistrer le travail des machines; il a fait remarquer que lorsque deux corps glissent l'un sur l'autre, le frottement peut se décomposer dans diverses directions proportionnellement aux vitesses dans ces directions. Ce principe a été appliqué à la construction d'une soupape se composant d'un piston A (Pl. I, *fig.* 2) se mouvant dans le cylindre, le joint B étant fait au moyen d'un cuir ou d'un presse-étoupe; puis, pour diminuer la valeur du frottement dans le sens vertical, on faisait tourner le piston rapidement sur lui-même au moyen d'une poulie C; de cette façon le frottement vertical est d'autant plus faible que la vitesse est plus grande; cet appareil n'a pas été beaucoup employé parce qu'il est très délicat.

Emploi de la soupape à fuite. — Comme c'est la surface de portée qui est cause de l'erreur, il m'est venu à l'idée de la supprimer et d'employer une soupape complètement cylindrique (Pl. I, *fig.* 3); c'est une sorte de piston C parfaitement tourné, et qui peut se mouvoir dans un trou parfaitement alésé dans une pièce d'acier B. J'ai supprimé toute espèce de garniture autour du piston, en laissant l'eau s'écouler librement par la fuite.

Depuis le moment où j'ai fait exécuter cette soupape, j'ai appris qu'on avait déjà plusieurs fois essayé de mesurer les hautes pressions au moyen d'un piston sans garniture, mais

ces essais n'ont pas passé dans la pratique, probablement parce qu'on n'était pas fixé sur les causes d'erreurs; on verra plus loin qu'elles sont toutes évaluées dans ce travail et qu'on peut avoir la plus grande confiance dans cet appareil. Il est bon de remarquer que l'invention du piston à fuite pour mesurer les pressions doit être, en réalité, attribuée à Watt; on sait que le piston de son indicateur ne porte pas de garniture. En 1857, Redman, officier d'artillerie américain, a eu l'idée d'employer le piston à fuite pour la mesure de la pression des gaz dans les canons. Ces expériences ont été répétées depuis en France; nous devons mentionner spécialement les expériences de M. Marcel Deprez et du commandant Sébert sur la mesure de la pression des gaz de la poudre dans les canons; dans ces essais, un piston à fuite du même genre était employé et donnait la mesure de la pression avec une grande précision (*).

Revenons à la description de notre appareil : l'eau arrive sous pression par un tuyau A dans la pièce B; une ouverture latérale met l'eau en communication avec les manomètres métalliques qu'on peut avoir à graduer. Le piston C est ajusté de façon à se mouvoir dans sa gaine *sans frottement sensible;* l'effort exercé par l'eau sous le piston C est transmis à un pointeau E qui supporte la charge de la soupape par l'intermédiaire d'un levier. En outre, pour empêcher la soupape de tomber au fond de la pièce B lorsque l'eau n'a pas de pression, la partie supérieure du piston est fixée à une pièce F; cette pièce est munie de deux oreille sur lesquelles viennent s'attacher deux ressorts à boudin constamment tendus et qui supportent le poids du piston C et du pointeau E (voir la Pl. I, *fig.* 4, coupe par GH); c'est alors en limitant la course du levier qu'on limite par cela même la course du piston.

(*) Voir le *Traité de la poudre*, de M. E. Desortiaux. — Paris, Dunod, 1879.

A première vue on se demande s'il est possible de faire assez bien l'ajustage du piston pour que la fuite soit assez petite et que le frottement soit négligeable; avant de faire les essais, je m'étais rendu compte par le calcul du peu d'importance de la fuite; la pratique m'a montré que cette fuite était plus faible encore que je ne pensais. Le piston que j'ai employé a 15 millimètres de diamètre et 350 millimètres de hauteur engagée dans le cylindre; la fuite est à peine de 1 gramme d'eau par seconde à une pression de 200 kilog. par centimètre carré, et cependant le frottement est si faible que le piston descend sous son propre poids (30 grammes environ) lorsque l'appareil est vide: la douceur du frottement s'obtient facilement en graissant le piston avec du suif naturel fondu. Ce piston et sa gaine sont en acier dur, mais non trempé. Cette grande précision d'ajustage est assez facile à obtenir, car les pièces ont été tournées sur les outils qui servent habituellement à l'ajustage des pièces de locomotives dans les ateliers de la Compagnie P.-L.-M., à Paris.

Description complète de la soupape de graduation de 0 à 1.000 kilog. par centimètre carré. — Pour obtenir la valeur exacte de la charge de la soupape, j'ai employé un système de leviers bien connu et dont on peut se rendre compte d'après la *fig.* 4 (Pl. I); cet appareil fonctionne, depuis le mois de décembre dernier, pour les pressions de 0 à 200 kilog., pression que notre compresseur ne nous permet pas de dépasser. Comme il a donné de bons résultats, j'en ai fait construire un nouveau pour les pressions de 0 à 1.000 kilog. par centimètre carré. C'est ce nouvel appareil que j'ai figuré Pl. I; la *fig.* 4 représente la bascule, qui est du même système que celle que j'ai employée jusqu'à présent; les pièces en sont seulement plus grandes et plus fortes. La *fig.* 3 représente la section du piston. Le piston et sa gaine doivent être de préfé-

rence en bronze d'aluminium (10 p. 100 d'aluminium et 90 p. 100 de cuivre), métal très dur et presque inoxydable, qui se fond et se travaille très bien. On ne laisse qu'une course de 2 millimètres à l'extrémité du levier, ce qui ne fait que $\frac{2}{10}$ de millimètre de course pour la soupape. Une sonnerie électrique prévient l'observateur du moment précis du soulèvement de la soupape et du moment de sa descente; cette dernière disposition est due à M. Neel, agent chargé de l'atelier des essais.

Le contrepoids peut se déplacer sur le levier au moyen d'une vis manœuvrée par un volant placé à l'extrémité du levier; la graduation est gravée sur le levier lui-même. En outre du grand levier, l'appareil contient un contrepoids supérieur fixe agissant sur le grand levier par l'intermédiaire d'un levier et de deux bielles; ce contrepoids fixe sert à équilibrer le grand levier de telle façon qu'il soit bien horizontal, sans toucher les buttoirs du haut et du bas, lorsqu'il n'y a pas de pression sous le piston et que le contrepoids mobile est au zéro. Le poids du contrepoids mobile se calcule aisément d'après la valeur du diamètre intérieur du cylindre où se meut le piston, et d'après les dimensions du levier et des divisions de la graduation. La mesure la plus délicate est celle du diamètre intérieur du cylindre; il existe des appareils qui permettent de mesurer facilement ce diamètre avec une précision de $\frac{1}{50}$ de millimètre.

Tous les couteaux de la bascule doivent avoir leurs axes rigoureusement parallèles. Le bâti en fonte doit être solide pour ne pas fléchir; il est boulonné contre un mur en maçonnerie. (Voir Pl. I., *fig.* 4, et coupes diverses.)

Le levier porte 1.000 divisions, de 0 à 1.000 kilog. par centimètre carré; comme il a $1^m,500$ de longueur, l'écartement des divisions est de 1 millimètre 1/2. Il y a lieu de

se demander quelle doit être le débit du compresseur à 1.000 kilog. nécessaire pour cette soupape. Dans l'appareil existant, qui fonctionne de 0 à 200 kilog., la fuite n'est pas supérieure à 1 centimètre cube par seconde à 200 kilog.; il est facile de prévoir ce que serait la fuite à 1.000 kilog.; comme la vitesse de l'eau croît comme la racine carrée de la pression du milieu d'où elle s'écoule, il est probable que le débit sera égal à $1^{cm^3},0 \times \sqrt{10}$ ou à peine $3^{cm^3},2$; mettons 10 centimètres cubes pour tenir compte de l'augmentation possible de la fuite; il faudra donc employer un compresseur à 1.000 kilog. et fournissant un débit de 10 centimètres cubes par seconde.

Évaluation des causes d'erreur du nouvel appareil. — On peut se demander quelles sont les erreurs possibles dans la mesure des pressions par l'emploi de la soupape à fuite qui vient d'être décrite; pour répondre à cette question, j'ai dû faire la théorie de cet appareil et l'évaluation par le calcul de toutes les causes d'erreur.

On remarque, dans cette étude, que lorsqu'on emploie un même appareil pour la mesure de diverses pressions, toutes les causes d'erreurs sont d'autant plus faibles que la pression mesurée est plus faible; elles sont même *proportionnelles à la pression mesurée*, ce qui fait que l'appareil jouit de la même précision dans toute l'étendue de sa graduation; en d'autres termes, *les erreurs relatives* sont indépendantes de la pression mesurée.

Nous allons donner ci-dessous les résultats de cette étude, qu'on trouvera plus loin dans tous ses détails. (Voir la note qui se trouve à la fin de la première partie de ce travail, page 129.)

1° Erreur relative due à ce qu'on néglige la quantité de mouvement du liquide de la fuite.	$\leq$ 0,0000037
2° Erreur relative due au frottement du liquide dans la gaine annulaire autour du piston. . .	$<$ 0,0044
A reporter.	0,0044037

Report.	0,004 403 7
3° Erreur due à la mesure inexacte du diamètre intérieur du cylindre où se meut le piston.	≤ 0,002 7
4° Erreur due à la dilatation des pièces.	≤ 0,000 4
Total.	≤ 0,007 503 7

Ainsi en supposant que toutes ces erreurs s'ajoutent, ce qui est plus défavorable que le cas réel, on trouve que l'erreur relative totale est certainement inférieure à $\frac{8}{1.000}$ de la pression indiquée; cette erreur peut d'ailleurs être en plus ou en moins.

Si l'on veut avoir une très grande précision, il est bon cependant de ne pas employer la soupape pour la mesure des pressions inférieures à $\frac{1}{10}$ de la puissance maxima; cela tient à ce que, pour des pressions trop faibles, les erreurs dues à la bascule qui sert à charger la soupape pourraient prendre une certaine importance. Pour la mesure complète des pressions de 0 à 1.000 kilog. par centimètre carré, on pourra employer : une soupape ou un manomètre à air libre de 0 à 10 kilog. une soupape de 10 à 100 kilog., et une autre soupape de 100 à 1.000 kilog.

Il existe enfin une cause d'erreur qui ne peut pas être évaluée par le calcul; elle pourrait constituer une grave objection au système, mais l'objection n'est qu'apparente, comme on va le voir.

Nous avons évalué le frottement de l'eau dans la gaine annulaire comprise entre le piston et le cylindre où il se meut (voir la note p. 129 pour plus de détails); mais il peut y avoir un *frottement métallique* du piston dans le cylindre, soit parce que le piston a été ajusté trop serré dans le cylindre, soit parce qu'il s'est introduit une impureté entre le piston et le cylindre. Si ce cas se présentait, les indications de la soupape seraient faussées; nous allons décrire

un nouvel appareil qui permet, comme on va le voir, de s'assurer avec certitude que ce cas ne se présente pas.

La *fig.* 5, Pl. I, représente cet appareil; il se compose simplement d'un tube manométrique à section ovale, enroulé en spirale. Une de ses extrémités A est fixée sur une planche et communique au raccord E qui peut être mis en communication avec l'ouverture latérale de la soupape. Sur l'autre extrémité du tube B est directement fixée une aiguille en aluminium, à la fois rigide et légère; l'extrémité de cette aiguille peut circuler devant un cercle divisé CD, sans cependant le toucher. Lorsque la pression croît, l'aiguille se déplace de C en D. Comme on le voit, cet appareil constitue un manomètre métallique d'une sensibilité parfaite; il ne peut donner lieu à aucun frottement, puisqu'il n'y a aucune transmission de mouvement; son seul défaut, c'est d'être très sujet à des oscillations de l'aiguille; cependant, lorsqu'il n'y a pas de fortes trépidations dans l'atelier, on peut facilement observer la position de l'aiguille à moins de $\frac{1}{1.000}$ près de la course totale. Pour y arriver, on a divisé la course totale CD de l'aiguille en 272 divisions de $\frac{1}{2}$ millimètre chacune; avec une loupe bien fixée, on peut observer la position de l'aiguille à $\frac{1}{4}$ de division près, ce qui fait une précision de $\frac{1}{4 \times 272}$ ou $\frac{1}{1.088}$.

Voici maintenant comment on doit se servir de cet appareil pour s'assurer que la soupape ne donne lieu à aucun frottement métallique sensible. Le raccord E du manomètre sans frottement est mis en relation avec le raccord latéral de la soupape. Puis on place le contrepoids curseur du levier de la soupape en un point quelconque de la graduation, de préférence dans le voisinage de l'extrémité du levier; on fait alors croître lentement la pression jusqu'au

soulèvement de la soupape, et l'on note avec soin la position de l'aiguille du manomètre sans frottement à cet instant; soit α la lecture observée. On fait ensuite descendre lentement la pression, et l'on note la nouvelle position β de l'aiguille au moment où la soupape retombe. Si la soupape n'offre pas de frottement métallique, les points α et β doivent coïncider parfaitement. En pratique, ce résultat est toujours facilement obtenu lorsque la soupape et les leviers sont bien entretenus et que l'eau employée est bien propre.

Il est facile d'avoir toujours de l'eau propre en la filtrant avant de l'employer. Le manomètre sans frottement doit toujours rester dans le voisinage de la soupape; on peut alors refaire cette vérification aussi fréquemment qu'on veut; il est important de la faire lorsqu'on a laissé l'appareil longtemps sans en faire usage. Si l'expérience accusait des frottements dans la soupape, il serait facile d'en trouver la cause et d'y remédier.

Application du nouvel appareil à la mesure des pressions de 0 à 1.000 kilog.

1° *Emploi de la soupape elle-même.* — Lorsqu'on veut mesurer les hautes pressions avec une grande précision, le mieux est d'employer la soupape elle-même, en lui adjoignant un manomètre sans frottement pour la vérifier de temps en temps. Au lieu d'un manomètre sans frottement analogue à celui que nous avons décrit, on peut se contenter d'un manomètre métallique comme on en trouve dans le commerce; ces appareils sont en général fort mal gradués et sujets à des dérangements, mais ils sont le plus souvent très sensibles; il est bon cependant de s'en assurer avant de les employer pour l'usage que nous venons d'expliquer. On fera bien de mettre un pointeau pouvant fermer l'arrivée de l'eau dans la soupape et un autre pointeau pouvant

fermer la communication avec le manomètre, afin de ne pas faire fonctionner ces appareils sans nécessité. Nous avons dit que l'emploi des pompes n'était pas à recommander pour la graduation des manomètres métalliques ni pour les expériences de précision, à cause des variations de pression dues aux coups de piston ; rien ne s'oppose cependant à ce qu'on emploie la soupape pour mesurer la pression même lorsqu'elle est produite au moyen d'une pompe.

2° *Emploi d'un nouveau manomètre métallique; sa graduation avec la soupape.* — Pour certains essais la soupape n'est pas d'un usage aussi commode qu'un manomètre où l'indication de la pression est donnée par une simple lecture, sans aucune manœuvre à faire. En outre la fuite de la soupape, bien que limitée à quelques centimètres cubes par seconde, peut être gênante dans certaines expériences.

Dans ces divers cas, on peut employer un manomètre métallique qui aura été, une fois pour toutes, gradué avec la soupape, avec les précautions que nous indiquerons plus loin.

Les manomètres métalliques du commerce ont des inconvénients assez graves qui peuvent nuire à l'exactitude de leurs indications; voici, en résumé, ce qu'on peut leur reprocher :

1° Les tubes flexibles que l'on emploie généralement ne sont pas assez résistants pour les pressions auxquelles on les soumet, de sorte qu'ils se déforment après un certain temps d'usage.

2° Le chemin parcouru par l'extrémité du tube enroulé est très faible, ce qui fait qu'on est obligé d'amplifier beaucoup ce mouvement pour obtenir une course suffisante de l'aiguille du manomètre; cela nuit à la précision.

3° Pour obtenir une grande amplification, on emploie le plus souvent des transmissions par engrenages, qui s'usent rapidement et donnent lieu à des jeux très notables après

quelque temps d'usage. Comme les manomètres sont souvent mis en communication avec les pompes, l'intermittence des coups de piston produit une oscillation perpétuelle de l'aiguille qui use rapidement ces engrenages.

Tous ces inconvénients tiennent à ce que l'on a toujours voulu construire des manomètres métalliques trop petits; on va voir qu'on peut facilement construire d'excellents manomètres métalliques en donnant à toutes les pièces des dimensions suffisantes.

La *fig.* 6, Pl. I, représente le manomètre métallique que je propose pour la mesure des hautes pressions. Il se compose d'un tube à section elliptique à forte section (40 millimètres de grand diamètre extérieur) enroulé en spirale suivant un rayon de 500 millimètres. Ce tube est solidement fixée à une plaque de tôle au moyen de deux attaches A et B; à l'autre extrémité C du tube, une tige rigide DE est solidement fixée au moyen d'un collier; une bielle EF communique le mouvement au levier FGH, qui peut pivoter autour du point fixe G. Le mouvement du point H est transmis, au moyen d'une bielle HI, à un nouveau levier IKL, qui pivote autour du point fixe K; quant à l'aiguille MN, elle est calée sur le même axe que le levier IKL et suit rigoureusement ses mouvements; elle est formée d'une feuille d'aluminium, repliée de manière à donner à sa section une forme en U; à son extrémité M est fixée une pointe en acier; de cette façon, elle est à la fois rigide et légère.

La graduation est tracée sur une plaque de maillechort; on verra plus loin comment elle est faite. Le tube manométrique est relié au raccord O au moyen d'un tube un peu flexible pour éviter les déformations de l'appareil lorsqu'on visse l'écrou du raccord.

Avec cet ensemble de bielles et de leviers, on obtient facilement une amplification de $\frac{25}{1}$ sans l'intermédiaire d'aucun engrenage. La course de l'extrémité C du tube étant

de 20 millimètres environ, celle de l'extrémité de l'aiguille sera de 500 millimètres environ.

Nous allons montrer comment les leviers doivent être équilibrés. D'abord le levier FGH est équilibré autour de son axe au moyen d'une boule P dont on peut régler la position sur le levier. D'autre part, l'aiguille doit être équilibrée à peu près autour de l'axe K, ainsi que le levier IKL; on obtient l'équilibrage parfait de l'ensemble de l'aiguille et du levier au moyen de la boule mobile L.

Il ne faut pas s'exagérer du reste l'importance de la perfection de l'équilibrage; l'essentiel c'est que les conditions restent toujours les mêmes après la graduation du manomètre.

La sensibilité de l'appareil sera très grande parce que les frottements des leviers sont presque nuls et le tube manométrique est au contraire grand et très puissant. Mais, comme dans tous les manomètres métalliques, il est impossible de monter les axes des pièces sans aucun jeu; ce jeu donne lieu à une erreur dans un sens ou dans l'autre suivant qu'on ferait monter ou descendre la pression. Pour éviter cet inconvénient, on emploie généralement de petits ressorts antagonistes qui obligent les axes à s'appuyer toujours du même côté; ces ressorts ont l'inconvénient de s'altérer par l'usage et de modifier légèrement les indications du manomètre. Je proposerais de les remplacer par un petit poids additionnel fixé sur une tige calée sur le levier IKL; il servira à compenser tous les jeux de l'appareil. On commencera donc par fixer par tâtonnements la position des poids P, L, Q. Enfin, une douille mobile R permet de raccourcir ou d'allonger la bielle EF pour amener l'aiguille au zéro. Ces diverses opérations de réglage doivent se faire avant la graduation du manomètre au moyen de la soupape.

L'appareil n'est influencé en aucune façon par les variations de température si l'on prend la précaution de construire toutes ses pièces avec un même métal, l'acier par exemple.

Il est bon d'enfermer l'appareil dans une boîte en bois avec un couvercle de verre; on aura soin de le suspendre bien verticalement avec un fil à plomb; sans cette précaution ses indications pourraient être modifiées.

Les manomètres métalliques ordinaires du commerce sont déjà très sensibles; on peut réduire facilement à moins de $\frac{1}{100}$ de la course totale de l'aiguille l'incertitude due au frottement des pièces; on peut même arrriver jusqu'à $\frac{1}{200}$. Avec l'appareil que nous venons de décrire, on pourra sans aucun doute réduire facilement cette erreur à moins de $\frac{1}{200}$.

Il faut bien remarquer que cette erreur due au frottement est *une constante*, quelle que soit la pression mesurée, au lieu d'être *proportionnelle à la pression mesurée* comme les erreurs de la soupape; il en résulte que si l'on emploie le manomètre métallique que nous venons de décrire pour une pression égale à $\frac{1}{10}$ de son indication maxima, l'erreur du frottement pourra être de $\frac{1}{20}$; c'est exagéré, même pour la pratique industrielle.

Lors donc qu'on veut remplacer la soupape par un manomètre métallique, il faut employer plusieurs manomètres métalliques à différentes pressions, plus ou moins, selon l'étendue de l'échelle des pressions et la précision qu'on veut obtenir.

On pourra employer la disposition que nous avons représentée Pl. I, *fig.* 6, quelle que soit la pression pour laquelle on doit construire le manomètre; on n'aura qu'à faire varier l'épaisseur du tube manométrique suivant la pression; tout le reste du dessin subsiste sans modification.

Nous n'avons plus que quelques mots à dire sur la gra-

duation du manomètre métallique au moyen de la soupape. On commence par s'assurer que la soupape est en bon état et que ses frottements sont nuls; cette vérification se fait, comme nous l'avons vu, au moyen du manomètre sans frottement que nous avons décrit ou avec tout autre manomètre métallique suffisamment sensible. Voici comment on déterminera chaque point de la graduation : on place le contrepoids curseur à la position convenable et l'on fait monter lentement la pression jusqu'à ce que la sonnerie électrique fonctionne. On note la position M de l'aiguille sur le cadran du manomètre à graduer; on laisse monter un instant la pression, puis on la laisse redescendre; on note le nouveau point N correspondant à la descente de la soupape; les points M et N doivent coïncider exactement. S'il arrive que le point N soit au-dessus du point M, c'est que le manomètre métallique subit un frottement en cet endroit de sa graduation; si cette anomalie était trop accentuée, il faudrait réparer le manomètre métallique pour lui supprimer ce défaut. Si au contraire N se trouve au-dessous de M, c'est que la soupape subit un frottement plus grand que celui du manomètre, circonstance qui ne doit pas se présenter si la soupape a été bien vérifiée avant l'expérience.

On répète cette expérience pour un certain nombre de points de la graduation, puis on trace des divisions proportionnelles entre ces points.

Il est inutile de tracer plus de 200 divisions sur un manomètre métallique : sa sensibilité n'en comporte pas davantage.

3° *Emploi d'un appareil enregistrant les pressions.* — Nous venons de voir qu'on peut employer, pour mesurer les pressions, la soupape elle-même ou bien un manomètre métallique gradué avec la soupape; chacun de ces deux appareils demande un peu d'attention dans l'observation; aussi quelques ingénieurs pourraient-ils préférer l'emploi

d'un appareil qui enregistrerait automatiquement les pressions. Il est très facile de construire un appareil de ce genre en appliquant le principe de la soupape à fuite : il suffit d'employer un piston à fuite sur lequel on fait agir un ressort ; les déplacements de la soupape sont communiqués à un crayon qui trace des ordonnées proportionnelles à la pression sur une feuille de papier qui se déroule devant le crayon. L'appareil est gradué directement en mesurant le diamètre intérieur du cylindre où se meut le piston et en tarant le ressort au moyen de poids directs.

M. Mottet, contrôleur des travaux extérieurs au chemin de fer de P.-L.-M., a construit récemment un appareil d'après ces indications ; l'appareil est destiné à enregistrer la variation des efforts d'une presse à caler les roues pendant l'opération du calage ; dans cet appareil, le piston à fuite communique avec l'eau de la presse à caler, et le mouvement du papier est proportionnel au déplacement de l'essieu par rapport au centre de roue ; l'appareil peut même enregistrer *séparément* la courbe des efforts de calage des deux roues lorsqu'on fait pénétrer l'essieu *en même temps* dans les deux moyeux.

Un appareil de ce genre serait d'un usage très commode pour les machines d'essai ; cependant les observations seraient un peu moins précises que celles qu'on peut faire avec la soupape à leviers ou avec le manomètre métallique que nous avons décrit.

Application à la construction des soupapes de sûreté et des régulateurs de pression.

Jusqu'à présent on n'est jamais parvenu à établir des soupapes de sûreté fonctionnant bien régulièrement pour les hautes pressions ; cela tient à ce que les soupapes de la forme ordinaire se soulèvent dans les conditions les plus variables, comme on l'a vu ci-dessus.

Il est facile d'appliquer le principe de la soupape à fuite à la construction des soupapes de sûreté. L'appareil que je propose constitue à la fois une soupape à maximum de pression et un régulateur de pression pour les pressions les plus élevées.

Cet appareil (Pl. I, *fig.* 7 et 8) se compose d'une soupape à fuite dont le piston A est chargé d'un poids P par l'intermédiaire d'un pointeau B et d'une tige guidée ; le poids P est soutenu au moyen du support C qui fait partie de la tige ; il est composé de rondelles pouvant se retirer par le côté. L'intermédiaire du pointeau est nécessaire ; en effet, quelle que soit la perfection du montage, l'axe de la tige guidée ne coïncide pas parfaitement avec l'axe de la soupape ; le pointeau diminue notablement le coincement qui pourrait résulter de cette imperfection. Le piston est percé dans sa partie inférieure suivant un petit canal qui débouche latéralement au moyen de quatre petites fenêtres ; lorsque ces fenêtres sortent à l'air libre, elles laissent s'échapper l'eau avec violence.

Le support C est actionné de haut en bas par un ressort en spirale servant à donner de la stabilité au système. On peut régler séparément la charge de la soupape et la stabilité du système en faisant varier le nombre des rondelles et la puissance du ressort antagoniste (*).

On limite la position inférieure et la position supérieure du piston au moyen des pièces filetées E et F ; la limite supérieure surtout demande à être fixée avec précaution une fois pour toutes si l'on veut éviter les oscillations de l'appareil ; on reconnaîtra que dans la plupart des cas la limite supérieure de la course du piston devra être fixée de manière à rendre impossible la sortie des fenêtres ; la fuite augmente en effet d'une manière très sensible par le fait

(*) Voir, pour plus de détails sur la stabilité des régulateurs, mon Étude sur les régulateurs. — *Annales des mines*, livraison de novembre-décembre 1879.

même que le piston s'élève en diminuant la longueur de la partie engagée dans le cylindre. Quant à la limite inférieure de la course, elle devra être réglée au moyen de l'écrou E, de manière que la soupape ne tombe pas au fond de son cylindre; les ressorts en spirale l'empêchent de tomber lorsqu'elle n'est pas soutenue par l'eau.

On aura soin de placer un cylindre G pour arrêter les projections d'eau; l'eau de la fuite tombe dans un petit bassin H ménagé dans le bâti de fuite et s'écoule par un tuyau I.

Nous n'avons représenté qu'une seule section de l'appareil à cause de sa simplicité; le bâti de fonte se compose d'une sorte de boîte prismatique dont la section est figurée et dont le fond est fixé contre un mur vertical au moyen de quatre boulons.

NOTE SUR LA THÉORIE DE LA SOUPAPE ET L'ÉVALUATION DES CAUSES D'ERREUR.

Théorie de la soupape.

Nous allons chercher comment on peut mesurer la pression de l'eau en fonction des données de l'appareil; nous supposerons d'abord que la soupape serve à graduer un manomètre métallique.

Je considère, d'une part, une section A_0B_0 (Pl. I, *fig.* 9) de la veine liquide, assez éloignée de la tige pour que les filets liquides y soient bien parallèles; soit p la pression de l'eau en A_0 B_0; c'est cette pression qu'il faut mesurer, le manomètre métallique étant branché en cet endroit. Considérons, d'autre part, une section C_0D_0 du filet liquide annulaire dans le voisinage de la sortie de l'eau et où les filets soient parallèles.

Soient A_1B_1 et C_1D_1 les positions occupées par les tranches liquides A_0B_0 et C_0D_0, au bout de l'unité de temps. Le volume A_0B_0 A_1B_1 est égal au volume $C_0D_0C_1D_1$; c'est le débit en volume de l'eau pendant l'unité de temps.

Je désigne par Q le poids de la tige cylindrique et du poids dont elle est chargée.

Nous allons appliquer le théorème des quantités de mouvement au corps formé par l'*ensemble* de la masse liquide $A_0B_0C_0D_0$ et du poids Q; au bout de l'unité de temps, la masse liquide sera transportée en $A_1B_1C_1D_1$; le poids Q n'a pas changé de place.

Nous allons écrire que l'impulsion des forces extérieures, pendant l'unité de temps, est égale à la quantité de mouvement perdue par le corps considéré, pendant l'unité de temps, équation représentée par la formule générale.

$$\int_0^1 F\,dt = MV_1 - MV_0\,;$$

F est la résultante des forces extérieures,

M la masse du corps considéré,

V_0 et V_1 ses vitesses à l'origine du temps et au bout de l'unité de temps.

Évaluons d'abord les impulsions des forces ou le premier membre de l'équation; soit S la section intérieure du cylindre où se meut la tige en A_0B_0; les forces extérieures appliquées au corps considéré sont les suivantes :

1° La pression sous A_0B_0 ou $p \times S$;

2° Le poids Q ou plutôt — Q en tenant compte du signe;

3° Enfin la somme Σf des réactions extérieures dues au frottement de l'eau contre la paroi interne du cylindre qui contient la tige, soit $\Sigma f = -\varphi$, en mettant le signe en évidence.

Or chacune de ces forces reste constante dans le déplacement considéré et très petit du corps auquel nous appliquons le théorème des quantités de mouvement.

L'intégrale $\int_0^1 F dt$ peut donc s'érire $F \times \int_0^1 dt = F$;

Le premier membre de l'équation est donc égal à $pS - Q - \varphi$.

Nous allons évaluer le second membre, ou la quantité de mouvement perdue par le corps considéré dans son passage de $A_0B_0C_0D_0$ à $A_1B_1C_1D_1$. Remarquons que le poids Q ne s'est pas déplacé, donc il n'a pas donné lieu à une variation de quantité de mouvement; nous pouvons en faire abstraction.

D'autre part, les deux masses liquides $A_0B_0C_0D_0$ et $A_1B_1C_1D_1$ ont une partie commune $A_1B_1C_0D_0$ dont nous pouvons faire aussi abstraction, le régime d'écoulement étant, bien entendu, supposé permanent.

La variation cherchée de la quantité de mouvement se réduit donc, en définitive, à la quantité de mouvement de la masse $C_0D_0C_1D_1$, moins la quantité de mouvement de la masse $A_0B_0A_1B_1$.

Soit D le débit de l'eau, en volume, par unité de temps; soit σ la section de la fuite et soit δ le poids de l'unité de volume d'eau; la vitesse de l'eau en A_0B_0 est égale à $\frac{D}{S}$; à la sortie de la fuite, en C_0D_0 elle est égale à $\frac{D}{\sigma}$.

La masse $A_0B_0A_1B_1$ est égale à la masse $C_0D_0C_1D_1 = \frac{D}{g} \times \delta$.

La quantité de mouvement perdue est donc :

$$-\frac{D}{g} \times \frac{D}{S} - \frac{D\delta}{g} \times \frac{D}{\sigma} = +\frac{D^2\delta}{g}\left(\frac{1}{S} - \frac{1}{\sigma}\right);$$

elle est donc inférieure à $+\frac{D^2\delta}{g\sigma}$.

L'équation devient donc la suivante :

$$pS - Q - \varphi < +\frac{D^2\delta}{g\sigma},$$

d'où

$$p - \frac{Q}{S} - \frac{\varphi}{S} < +\frac{D^2\delta}{g\sigma S}$$

ou bien

$$p = \frac{Q}{S} + \frac{D^2\delta}{g\sigma S} + \frac{\varphi}{S}; \qquad (1).$$

1° *Erreur due à la quantité de mouvement négligée.* — Si dans l'équation précédente on néglige le terme $\frac{D^2\delta}{g\sigma S}$, on fait une erreur que nous désignerons par α et qui est connue si l'on connaît le débit D; nous avons vu qu'il est inférieur en pratique à 1 centimètre cube par seconde dans notre appareil.

On a donc

$$\alpha \leq \frac{D^2\delta}{g\sigma S}.$$

2° *Erreur due au frottement de l'eau.* — Nous allons montrer qu'on peut négliger le terme $\frac{\sigma}{S}$ à côté du terme $\frac{Q}{S}$; voici comment:

Supposons que la tige de la soupape ait une longueur très grande (Pl. I, *fig.* 10); soient A_0B_0 la section de la masse liquide

annulaire à l'entrée dans la gaine annulaire, au point où se trouve la section contractée, et C_1D_1 une section dans le voisinage de la sortie de l'eau.

Considérons la masse liquide annulaire $A_0B_0C_0D_0$; soit $A_1B_1C_1D_1$ sa nouvelle position au bout de l'unité de temps; appliquons le théorème des impulsions au déplacement de cette gaine liquide; les forces extérieures sont les deux suivantes :

1° La pression de l'eau sur la section σ, à l'entrée de l'eau dans la gaine annulaire;

2° La somme Σf de tous les frottements de l'eau contre la paroi interne du cylindre;

3° La somme $\Sigma f'$ de tous les frottements de l'eau contre la tige de la soupape; or $\Sigma f = \Sigma f'$ lorsque le jeu est une très petite fraction du diamètre, car alors les deux surfaces sur lesquelles agit le frottement de l'eau sont sensiblement égales; soit $\Sigma f = -\varphi$, en mettant le signe en évidence.

L'impulsion des forces est donc égale à la pression de l'eau sur la section σ à l'entrée moins $2 \times \varphi$.

Quant à la quantité de mouvement perdue par la masse $A_0B_0C_0D_0$ se transportant en $A_1B_1C_1D_1$, elle est égale à la quantité de mouvement de $C_0D_0C_1D_1$, moins la quantité de mouvement de $A_0B_0A_1B_1$; or nous pouvons toujours imaginer une tige et une gaine assez longues pour que la vitesse de l'eau dans la gaine soit négligeable : en d'autres termes, si la gaine avait une longueur infinie, la variation de la quantité de mouvement serait nulle; de plus, dans ce cas, la pression à l'entrée de la gaine serait égale à p; soit μ le rapport de la section contractée à la section σ; on aurait donc :

$$p\sigma \times \mu \times - 2\varphi = 0;$$

d'où

$$\varphi = \mu \times \frac{p\sigma}{2} < \frac{p\sigma}{2}.$$

Puisque le frottement est au plus égal à $\frac{p\sigma}{2}$, avec une longueur infinie, il sera *a fortiori* inférieur à cette valeur avec une gaine de longueur finie;

En résumé, si nous posons $\frac{\varphi}{S} = \beta$, on a $\beta \leq \frac{p\sigma}{2S}$ ou approximativement

$$\beta \leq \frac{Q}{2S} \times \frac{\sigma}{S}.$$

3° *Erreur due à la mesure du diamètre intérieur du cylindre.* — Nous venons d'évaluer les erreurs relatives α et β; Q est la valeur de la charge qui existe sur la soupape; il est facile de la connaître exactement; quant à S, c'est la section intérieure du cylindre, et non pas celle du piston comme on pourrait le croire au premier abord.

Soit a le diamètre intérieur du cylindre et da l'approximation dans sa mesure; l'erreur relative dans la mesure du diamètre est $\frac{da}{a}$; il est facile de voir que l'erreur relative qui en résulte dans la mesure de S est égale à $2 \times \frac{da}{a}$.

Soit y l'erreur qui en résulte dans la mesure de p, on a :

$$p = 2\,\frac{da}{a} \times p,$$ erreur qui peut être en plus ou en moins.

4° *Erreur due à la dilatation des pièces.* — Si l'on a soin de faire la mesure de S à la température de 15°, l'erreur provenant de la dilatation du cylindre est négligeable ; en effet, supposons que les observations soient toujours faites entre les températures de 0 et 30°, le plus grand écart de la température sera de 15°; or, pour 100°, l'acier se dilate de $\frac{1}{800}$ de sa longueur; cela fait une dilatation de $\frac{1 \times 15}{800 \times 100} = 0{,}0002$ sur le diamètre, ou encore une dilatation de 0,0004 de la surface S de la section ; désignons par δ l'erreur qui en résulte dans la mesure de p, on a :

$$\delta \leq \pm\, 0{,}0004 \times p.$$

Remarque. — Dans le cas où la soupape doit servir non plus à graduer un manomètre métallique, mais à mesurer directement la pression dans une presse hydraulique, par exemple, il se présente deux nouvelles causes d'erreur à cause du tuyau qui fait communiquer la soupape avec la presse hydraulique. En effet, par suite de la fuite de la soupape, l'eau circule dans ce tuyau ; elle perd donc un peu de sa pression, dans son trajet, d'abord à cause de sa vitesse même, ensuite à cause du frottement qu'elle exerce dans le tuyau. Il est facile de voir, par un calcul très simple, que ces deux causes d'erreur sont bien plus faibles que celles que nous avons étudiées, si toutefois on a soin de relier la soupape à la presse hydraulique par une conduite d'une longueur

de 8 à 10 mètres au plus et d'un diamètre au moins égal à celui du piston de la soupape. Nous négligerons donc complètement ces causes d'erreur.

Résumé des causes d'erreur.

Reprenons l'équation (1); on a définitivement :

$$p = \frac{Q}{S} + \alpha + \beta \pm \gamma \pm \delta.$$

Désignation des causes d'erreur.

$\alpha \leq \frac{D^2\delta}{g\sigma S}$, erreur due à la quantité de mouvement négligée.

$\beta \leq \frac{Q\sigma}{2S2}$, erreur due au frottement de l'eau négligée.

$\gamma \leq 2\frac{da}{a} \times p$, erreur due à la mesure inexacte du diamètre du cylindre.

$\delta \lessgtr 0{,}0004 \times p$, erreur due à la dilatation des pièces.

Résumé des notations.

a diamètre intérieur du cylindre, en centimètres,
da erreur commise sur la mesure de ce diamètre,
$S = \pi\frac{a^2}{4}$, surface du cercle de rayon a,
σ surface de section de la fuite annulaire,
p pression maximum de l'eau, par centimètre carré,
Q charge correspondante $= p \times S$,
D débit de l'eau de la fuite en centimètres cubes par seconde,
δ poids de 1 centimètres cube d'eau $= 0^k{,}001$,
g accélération de la pesanteur en centimètres $= 981$.

Évaluation des erreurs relatives.

Nous venons d'évaluer α, β, γ, δ, pour chaque valeur de p; nous allons montrer que ces erreurs sont *proportionnelles* à p, ce qui fait que les erreurs relatives $\frac{\alpha}{p}$, $\frac{\beta}{p}$, $\frac{\gamma}{p}$, $\frac{\delta}{p}$, sont les mêmes quel que soit p; on n'aura donc qu'une seule évaluation à faire

de ces erreurs pour un même appareil. Désignons par α', β', γ', δ', ces erreurs relatives, elles sont égales aux valeurs suivantes obtenues en divisant α, β, γ, δ, par p ou par $\frac{Q}{S}$, ce qui revient au même.

Résumé des erreurs relatives.

$$\alpha' \leq \frac{D^2\delta}{g\sigma S} \times \frac{S}{Q} = \frac{D^2\delta}{g\sigma Q}$$

$$\beta' \leq \frac{Q\sigma}{2S^2} \times \frac{S}{Q} = \frac{\sigma}{2S}$$

$$\gamma' \leq \frac{2\,da}{a} \times \frac{p}{p} = \frac{2\,da}{a}$$

$$\delta' \leq 0{,}000h \times \frac{p}{p} = 0{,}000h$$

Il est facile de voir que chacune de ces erreurs relatives est indépendante de Q; en effet α' contient D^2 au numérateur et Q au dénominateur; or $\frac{D^2}{Q}$ est une constante, car le carré du débit de la fuite est proportionnel à la charge Q.

Quant aux trois autres termes, il est clair qu'ils sont indépendants de Q.

Résumé. — Ainsi, pour un même appareil donné, on a :

$$p = \frac{Q}{S}\left(1 + \alpha' + \beta' \pm \gamma' \pm \delta'\right)$$

Application au cas pratique de l'appareil figuré Pl. I, *fig. 4.* — (Voir le résumé des erreurs, page précédente.)

$a = 1^c{,}5.$

$da = \frac{1}{50}$ de millimètre ou $0^c{,}002$

$S = 1^{cq}{,}767.$

σ = section annulaire de $\frac{1}{30}$ de millimètre de largeur $= 0^{cq}{,}0167$

p = 1.000 kilog. par centimètre carré.

$Q = 1.000 \times 1.767 = 1.767$ kilog.

D = 10 centimètres cubes. (Voir la description de la soupape.)

$\delta = 0^m{,}001.$

g = 981 (l'unité de longueur est le centimètre).

Si nous appliquons ces chiffres dans les formules qui donnent les valeurs des erreurs relatives, on trouve :

$$\alpha' \leq \frac{D^2\delta}{g\sigma.Q} = \frac{(10)^2 \times 0^k001}{981 \times 0\,157 \times 1\,767} = 0{,}0000037$$

$$\beta' \leq \frac{\sigma}{2S} = \frac{0\,157}{2 \times 1\,767} = 0{,}0044$$

$$\gamma' \leq 2\frac{da}{a} = \frac{2 \times 0\,002}{1.5} = 0{,}0027$$

$$\delta' \leq 0{,}0004 \ \ldots\ldots\ldots\ldots = 0{,}0004$$

Total. 0,0075037

Conclusion. — Ainsi la somme des valeurs absolues des erreurs relatives est inférieure à $\frac{8}{1.000}$; en réalité, l'erreur est bien plus petite que ce chiffre, car il y a des erreurs en plus et des erreurs en moins; la soupape permet donc de mesurer une pression quelconque de zéro à 1.000 atmosphères avec une erreur bien inférieure à $\frac{8}{1.000}$ de la pression indiquée.

On pourra obtenir une pression bien plus grande encore en employant un piston d'un diamètre un peu supérieur à 15 millimètres.

Nous n'avons pas parlé des causes d'erreur propres à la bascule elle-même; on sait qu'il est toujours facile de construire une balance ayant une précision de $\frac{1}{1.000}$ de son indication maxima; l'erreur introduite par la balance est donc tout à fait négligeable en pratique, lorsqu'elle est bien construite; mais c'est à la condition de ne pas employer l'appareil pour des pressions inférieures au dixième environ de sa puissance maxima, nous proposerons donc d'employer :

1° Une soupape à 1.000 kilog. pour les pressions de 1 à 1.000 kilog.

2° Une soupape à 100 kilog. pour les pressions de 10 à 100 kilog.

3° Un manomètre à air libre ou une soupape pour les pressions de 0 à 10 kilog.

DEUXIÈME PARTIE.

FROTTEMENT DES CUIRS EMBOUTIS DES PRESSES HYDRAULIQUES.

Description des méthodes que nous avons employées pour la mesure des frottements.

1° *Mesure des frottements au moyen de la mesure des pressions dans nos machines d'essai.* — L'installation de la soupape nous ayant permis de mesurer avec précision les pressions de 0 à 200 kilog. par centimètre carré, il devenait possible de se rendre compte de la valeur du frottement des cuirs emboutis à l'aide des machines d'essai de la compagnie de Lyon.

Ces deux machines se composent, comme nous l'avons dit, d'une presse hydraulique pour exercer l'effort et d'une bascule pour le mesurer; elles fonctionnent de 0 à 100 tonnes; la pression de l'eau de la presse est de 114 kilog. par centimètre carré lorsque l'effort est de 100 tonnes.

Au mois de janvier 1880 nous avons fait de nombreux essais pour mesurer le frottement des cuirs au moyen de ces machines, de la façon suivante. Tout en se servant des machines pour les essais de métaux on faisait l'évaluation de l'effort par deux procédés différents :

1° Au moyen de la bascule de la machine;

2° En le calculant d'après la valeur de la pression de l'eau de la presse, et en admettant que le frottement des cuirs emboutis fût nul. La différence des deux valeurs ainsi trouvées nous donnait la valeur cherchée du frottement des cuirs.

Nous avons constaté avec surprise que les deux évaluations de l'effort étaient à peu près identiques : la différence était inférieure à $\frac{1}{90}$ de la valeur de l'effort, lorsque

le piston de la presse était bien graissé. On aurait donc pu supprimer la bascule des machines d'essai et mesurer les efforts au moyen de la pression de l'eau de la presse, l'erreur commise n'aurait été que de $\frac{1}{90}$.

2° *Mesure du frottement au moyen du manomètre sans frottement.* — On pouvait faire une objection à ces expériences.

La soupape donnait peut-être une mesure inexacte de la pression, et le hasard aurait pu faire que cette erreur fût précisément égale à la valeur du frottement des cuirs emboutis de la presse hydraulique. Pour aller au-devant de cette objection, j'ai employé un deuxième procédé pour vérifier la petitesse du frottement des cuirs des machines d'essai, sans me servir de la soupape.

Ces expériences ont été faites avec le manomètre sans frottement (voir Pl. I, *fig.* 3). On se rappelle que cet appareil porte simplement une division en demi-millimètres, il ne porte pas d'indications de pression.

Cet appareil a été mis en communication avec la presse d'une des machines d'essai; on avait eu soin de réunir le piston de la presse à la bascule par une barre d'acier capable de résister à la traction de 100 tonnes.

Le contrepoids curseur de la bascule était mis dans une position déterminée, correspondant à 60 tonnes par exemple; puis on augmentait l'effort de traction sur la barre d'acier, jusqu'à ce que le levier de la bascule fût horizontal; on notait avec soin la position de l'aiguille du manomètre sans frottement à cet instant.

On augmentait encore l'effort de traction ; le levier de la bascule dépassait alors la position horizontale ; on faisait alors diminuer la valeur de l'effort de traction jusqu'à ce que le levier fût revenu à la position horizontale, en redescendant; à ce moment, l'effort de traction était, de

nouveau, exactement égal à 60 tonnes; on notait avec soin la nouvelle position de l'aiguille du manomètre sans frottement.

Soient m et n le nombre de divisions indiquées par le manomètre sans frottement, aux deux lectures; l'expérience nous a montré que cet appareil donne des déplacements de l'aiguille sensiblement proportionnels aux pressions; si l'on admet que le frottement des cuirs de la machine d'essai est le même dans les deux sens, il est clair que $\frac{m-n}{n}$ mesure le double du rapport entre le frottement des cuirs et l'effort de traction de 60 tonnes; il comprend aussi les frottements de la bascule et en général toutes les résistances passives de la machine, de sorte que, en réalité, le frottement des cuirs est moindre que $\frac{m-n}{2.n}$.

Les expériences ont été plusieurs fois répétées et nous ont montré que l'on pouvait facilement réduire à moins de $\frac{1}{100}$ la valeur du frottement des cuirs emboutis de nos machines d'essai, et cela en graissant simplement le piston avec du suif.

3° *Mesure du frottement des cuirs au moyen d'un appareil spécial.* — Comme on le voit les expériences précédentes nous conduisaient à un résultat inespéré; au lieu d'avoir à évaluer le frottement des cuirs pour en tenir compte dans la pratique, j'ai pensé qu'on pouvait le *négliger complètement.* Ce résultat parut si contraire aux idées admises qu'il excita beaucoup de doutes; je songeai alors à faire des expériences plus précises qui vont être décrites; elles ont été faites au mois d'octobre 1880.

L'appareil que j'ai fait construire pour ces expériences est représenté Pl. II, *fig.* 1.

Il se compose d'un piston A de 275 millimètres de dia-

mètre qui traverse complètement un cylindre B dans lequel on a ménagé une petite cavité annulaire C. Cette cavité est destinée à recevoir de l'eau sous pression, qui est introduite par le tuyau D; le joint est fait sur le piston au moyen de deux cuirs emboutis; c'est le frottement de ces deux cuirs qu'il s'agit de mesurer; un manomètre métallique E permet de mesurer la pression de l'eau qu'on a introduite en C. Les cuirs peuvent être facilement changés en dévissant la pièce mobile F. Si l'on comprime de l'eau dans la cavité annulaire C, le piston A ne bouge pas; mais, si on le force à se déplacer au moyen d'un effort extérieur, la résistance qu'on éprouve est due au frottement des deux cuirs emboutis, et au frottement métallique des pistons A et P sur les cylindres; ce dernier frottement est très faible.

Soit a l'effort nécessaire pour pousser le piston A; il peut être exercé par un moyen quelconque, pourvu que, pendant toute la durée du mouvement du piston A, on puisse en connaître à chaque instant la valeur exacte. L'appareil qui nous a paru le plus commode, pour cet usage, est une presse à caler les roues, G. L'eau est envoyée dans la presse par l'orifice H au moyen d'une pompe, la pression est mesurée au moyen d'un manomètre à air libre qui communique avec la presse par le tuyau I. L'effort est calculé à chaque instant, en faisant le produit de la pression de l'eau par la section du piston de la presse à caler.

La seule erreur possible, dans l'évaluation de l'effort a, tient à ce qu'on néglige le frottement du cuir embouti K; d'après les indications données par les deux premières méthodes, on ne fait ainsi qu'une erreur inférieure à $\frac{1}{100}$ sur la *valeur* du frottement des cuirs soumis à l'essai; au surplus, cette erreur ne peut donner lieu qu'à une évaluation *trop forte* du frottement des cuirs.

L'expérience consiste donc à mesurer l'effort a, néces-

saire pour faire mouvoir le piston A lorsque la cavité C est remplie d'eau sous une pression quelconque. Il est clair que $\frac{a}{2}$ mesure le frottement du cuir d'une presse hydraulique qui aurait le même diamètre que le piston A et un seul cuir pareil aux cuirs essayés.

Cela posé, voici le tableau qui résume les expériences que j'ai exécutées; j'ai employé dans ces essais des cuirs dont les dimensions se rapprochent le plus des cuirs emboutis généralement employés:

RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES SUR LE FROTTEMENT DES CUIRS EMBOUTIS DES PRESSES HYDRAULIQUES.

$s = 594$ centim. carrés, section du piston A. $\sigma = 256$ centim. carrés, surface de contact d'un cuir.

Tableau des résultats.

PRESSION en C en kilog. par centimètre carré	EFFORTS sur le piston A ou a		EFFORTS dont on a retranché l'effort à zéro ou b		FROTTEMENT des cuirs des presses hydrauliques en fonction de l'effort ou f		COEFFICIENT de frottement des cuirs emboutis ou φ	
p	maximum a'	minimum a''	maximum $b' = a' - a'_0$	minimum $b'' = a'' - a''_0$	maximum $f' = \frac{b'}{2sp}$	minimum $f'' = \frac{b''}{2sp}$	maximum $\varphi' = \frac{b'}{2\sigma p}$	minimum $\varphi'' = \frac{b''}{2\sigma p}$
10	160	152	25	17	0,0021	0,0014	0,0049	0,0033
50	262	211	127	76	0,0023	0,0013	0,0050	0,0030
100	365	256	230	121	0,0020	0,0010	0,0045	0,0024
150	461	307	326	172	0,0019	0,0010	0,0042	0,0022
200	518	371	383	236	0,0016	0,0010	0,0038	0,0023
250	627	448	492	313	0,0016	0,0011	0,0038	0,0024
300	640	480	505	345	0,0014	0,0010	0,0033	0,0023
350	723	544	588	409	0.0014	0,0010	0,0033	0,0023
400	749	576	614	441	0,0013	0,0010	0,0030	0,0022
450	813	601	678	466	0,0013	0,0009	0,0029	0,0020
500	813	640	678	505	0,0012	0,0009	0.0027	0,0020
550	813	672	678	537	0,0011	0,0008	0,0024	0,0019
600	915	665	780	530	0,0011	0,0008	0,0025	0,0017
zéro	135	135	zéro	zéro	zéro	zéro	zéro	zéro

Explication des résultats (Voir Pl. II, *fig.* 1).

Valeurs de p. La première colonne du tableau donne les valeurs de la pression de l'eau dans la cavité C, en kilogrammes par centimètre carré.

Valeurs de a. On a fait parcourir au piston une course de 100 millim., on a noté la valeur de l'effort a en plusieurs points de cette course: la deuxième colonne du tableau donne la valeur maxima a' de cet effort; la troisieme colonne donne la valeur minima a'', pour chaque valeur de la pression p.

Valeurs de b. On a remarqué qu'il fallait exercer un effort de 135 kilog. pour déplacer le piston A et le piston P lorsqu'il n'y a aucune pression en C; cette valeur de 135 kilog représente donc le frottement *métallique* des deux pistons sur les cylindres; il faut le retrancher des valeurs de a' et a'' pour avoir la valeur exacte du frottement des cuirs emboutis sur le piston A; la troisième et la quatrième colonne du tableau donnent les valeurs de $b' = a' - 135$ et $b'' = a'' - 135$ ainsi définies.

Valeurs de f. Pour une presse hydraulique à un seul cuir, dont le piston aurait le même diamètre que le piston A, le frottement serait compris entre $\frac{b'}{2}$ et $\frac{b''}{2}$; or l'effort exercé par cette presse serait égal à $2 \times s \times p$, s étant la section du piston A ou 254 centim. carrés; soient f' et f'' les frottements des cuirs d'une presse en fonction de l'effort exercé, on a: $f' = \frac{b'}{2sp}$ et $f'' = \frac{b''}{2sp}$.

Valeurs de φ. On peut avoir besoin du coefficient de frottement des cuirs emboutis; soit σ la surface de contact d'un des cuirs sur le piston; $\sigma = 255$ centim. carrés; la pression exercée par les deux cuirs est égale à $p \times \sigma \times 2$, le coefficient de frottement est donc égal à $\frac{b}{2\sigma p}$ pour le maximum et $\frac{b'}{2\sigma p}$ pour le minimum. Le tableau montre que le coefficient de frottement diminue à mesure que la pression augmente.

REMARQUE. — Les valeurs de l'effort exercé sur le piston A ont été mesurées pendant le mouvement du piston A. qui était animé d'une vitesse de 2 millim. par seconde environ

Il a été fait plusieurs expériences pour mesurer la valeur de l'effort au moment où l'on met le piston en mouvement; elles ont montré que la résistance n'est pas plus grande au départ que pendant le mouvement. à condition de rendre la mise en marche assez douce pour ne pas faire intervenir la force d'inertie des pistons A et P ni celle de la colonne de mercure.

Le manomètre métallique E, qui nous a servi à mesurer les pressions p, a été gradué de 0 à 200 kilog., par comparaison avec notre soupape.

Nous avons été obligé de tracer les divisions de 200 à 600 en continuant des divisions égales à celles de 0 à 200; l'expérience nous a montré que dans tous les manomètres métalliques les divisions sont à peu près proportionnelles.

C'est d'ailleurs par ce procédé que les constructeurs de manomètres graduent encore aujourd'hui leurs appareils, avec cette différence qu'ils ne connaissent, en général, la pression exacte que jusqu'à 50 kilog. environ.

Nous répéterons les mêmes expériences lorsque nous aurons à notre disposition la soupape à 1.000 kilog. qui est en construction. Les expériences ont dû être limitées à 600 kilog. de pression, parce que la petite pompe à main qui nous a servi à comprimer l'eau dans la cavité C ne pouvait pas dépasser cette pression; autrement les cuirs emboutis peuvent résister et faire un joint parfait à une pression bien supérieure à 600 kilog. par centimètre carré.

Les valeurs de f qui sont sur le tableau représentent le frottement du cuir d'une presse hydraulique dont le piston aurait 275 millimètres de diamètre, en fonction de l'effort exercé sur le piston. Ces chiffres resteront les mêmes, quel que soit le diamètre du piston de la presse, pourvu que le cuir embouti ait toujours uue forme géométriquement semblable à celle des cuirs que nous avons expérimentés. Nous avons représenté Pl. II, *fig.* 2, la forme exacte des cuirs soumis à l'essai; la hauteur du bord intérieur du cuir est égale à 30 millimètres, soit environ $\frac{1}{9}$ du diamètre du piston A, qui est de 275 millimètres; si l'on a soin de donner à la hauteur du bord intérieur du cuir une valeur égale à $\frac{1}{9}$ du diamètre du piston, les chiffres donnés par le tableau

pour la valeur de f' et f'' sont applicables, quel que soit le diamètre du piston.

Nous avons parlé jusqu'ici de presses hydrauliques à un seul cuir; si la presse hydraulique a deux cuirs, comme dans certaines machines d'essai, il faut alors faire séparément l'évaluation du frottement de chacun des deux cuirs; d'un autre côté on peut, dans certains cas, employer des cuirs d'une forme différente de celle que nous avons indiquée; c'est pour ce motif que nous avons donné la valeur du coefficient de frottement φ des cuirs sur le piston; elle permet d'évaluer le frottement des cuirs ainsi qu'il suit.

Soient, en général, S la surface de la section utile du piston d'une presse hydraulique, σ la surface totale de contact des cuirs sur le piston, p la pression à laquelle on veut opérer; et φ' la valeur maximum du coefficient de frottement donnée par le tableau. Il est clair que l'effort de la presse est égal à $p \times s$ et que le frottement des cuirs est ègal à $p \times \sigma \times \varphi'$; l'erreur relative qu'on commet en négligeant le frottement est égale à $\frac{p.\ \sigma.\ \varphi'}{p.\ s.} = \varphi' \times \frac{\sigma}{s}$, formule dans laquelle on prendra pour φ' la valeur du tableau qui correspond à la pression considérée; cette valeur est toujours inférieure à 0,005, chiffre qu'on peut se rappeler comme un maximum et qu'on peut employer dans la pratique.

Nous avons vu qu'il faut exercer un effort de 135 kilog. pour déplacer les deux pistons A et P lorsqu'il n'y a aucune pression en C; il faudrait un effort de 80 kilog. environ pour déplacer le piston A tout seul. Cet effort est dû au frottement métallique du piston sur le cylindre; ce frottement ajoute une nouvelle erreur dans les presses à piston horizontal; il est facile de voir que cette erreur n'aurait de l'importance que si l'on employait dans le cylindre des pressions d'eau très faibles, au-dessous de 10 kilog. par centimètre carré, par exemple.

Des pressions aussi faibles ne sont presque jamais employées dans les presses hydrauliques; dans le cas où l'on voudrait néanmoins s'en servir, il vaudrait mieux disposer la presse de manière à mettre le piston vertical; ce frottement serait supprimé.

Dans tous les cas, lorsqu'on voudra mesurer exactement les efforts exercés par une presse au moyen de la pression de l'eau, il sera bon de mesurer le frottement du piston avec un dynanomètre, après avoir vidé la presse pour supprimer complètement la pression; le frottement n'est important que si l'ajustage de la presse et du piston a été mal exécuté.

Enfin, il est essentiel que le piston de la presse soit bien graissé, de préférence avec du suif naturel fondu. Il ne faut pas qu'il soit fortement oxydé; cet inconvénient ne se présentera jamais si la presse est employée fréquemment; si l'appareil ne devait servir que rarement, on éviterait le nettoyage du piston en le faisant en bronze, ou bien en fonte ou en fer nickelé.

Ces expériences sur le frottement des cuirs seront continuées; on essayera des cuirs à bords moins hauts, qui donneront moins de frottement; on essayera aussi la gutta-percha et le caoutchouc durci, qui peuvent être plus économiques que le cuir pour les pistons d'un grand diamètre.

Nous ferons remarquer en terminant que nous avons trouvé un coefficient de frottement toujours inférieur à 0,005 au lieu de 0,120, chiffre donné par les aide-mémoire pour les cuirs de garnitures de piston bien graissés; c'est donc un chiffre inférieur à $\frac{1}{24}$ du chiffre généralement admis. Cela prouve combien les lois du frottement sont encore peu connues; ce chiffre paraîtra plus surprenant encore que ceux qui ont été donnés dernièrement par le capitaine Douglas Galton pour le frottement à grande vitesse.

Application à une nouvelle méthode pour la mesure des pressions.

Mesure des pressions au moyen des machines d'essai à leviers. — Les expériences qui précèdent nous ont permis de faire une nouvelle vérification des indications données par la soupape à fuite pour la mesure des pressions. En effet, le frottement des cuirs emboutis étant négligeable, chacune des machines de l'atelier des essais constitue une grande soupape très sensible ; nous avons vu que dans ces machines l'effort de 100 tonnes correspond à une pression de 114 kilog. par centimètre carré dans la presse ; ces machines peuvent donc servir à mesurer exactement les pressions de 0 à 114 kilog. par centimètre carré. Nous avons comparé les indications de ces machines à ce point de vue avec celles de notre soupape de 0 à 200 kilog. ; les résultats sont tout à fait concordants ; la différence est même plus petite que $\frac{8}{1.000}$, limite que nous avons fixée à l'erreur possible sur les mesures de la soupape d'après les indications de la théorie.

Mesure des pressions au moyen d'une soupape à garniture. — On pourrait aussi faire une soupape d'un diamètre de 20 à 30 millimètres et garnie d'un petit cuir embouti ; les frottements seraient négligeables si la hauteur du cuir n'excédait pas la dimension que nous avons fixée, soit $\frac{1}{9}$ du diamètre. Il conviendrait peut-être, dans ce cas, d'employer un joint en caoutchouc durci, moulé et tourné, suivant une forme analogue à celle des cuirs emboutis. Cet appareil aurait l'avantage de ne donner lieu à aucune fuite ; ses indications seraient un peu moins exactes que celles de la soupape à fuite, mais cependant bien suffisantes pour la pratique ; il serait d'ailleurs facile de s'assurer de la peti-

tesse du frottement de la garniture au moyen du manomètre sans frottement, comme nous l'avons fait pour la soupape à fuite elle-même.

Cet appareil n'offrirait pas, d'ailleurs, un bien grand intérêt, parce que, dans la plupart des cas, la légère fuite de la soupape que nous avons proposée n'est pas gênante.

TROISIÈME PARTIE.

APPLICATIONS.

Presses hydrauliques et mesure des efforts.

Description de la presse hydraulique. — Dans la première partie, nous avons appris à mesurer les pressions; dans la seconde, nous avons vu que le frottement des cuirs emboutis bien établis était négligeable. Il est dès lors facile de mesurer l'effort produit par les presses hydrauliques. Nous allons donner quelques détails sur la construction de la presse elle-même.

D'abord, quelle épaisseur doit-on donner à la presse?

Nous appliquons la formule suivante, donnée par M. Brune (*).

$$D = d\sqrt{\frac{r+p}{r-p}}$$

- D diamètre extérieur de la presse.
- d diamètre intérieur de la presse.
- r fatigue maxima des fibres du métal en kilog. par centimètre carré.
- p pression maxima de l'eau dans l'intérieur de la presse, en kilog. par centim. carré.

L'épaisseur est alors égale à $\frac{D-d}{2}$; on prendra pour r la valeur de 400 à 500 kilog. pour la fonte et 1.000 à 1.500 kilog. pour l'acier.

(*) Voir les *Annales des ponts et chaussées*, septembre 1876.

Lorsque le piston est vertical, son poids suffit pour le ramener à fond de course quand on laisse sortir l'eau de la presse.

Lorsque le piston est horizontal, il faut le ramener par des contrepoids; en outre, il faut avoir soin de guider le piston sur une longueur suffisante pour éviter les coincements dus au porte-à-faux du piston; il est bon aussi, dans ce cas, de l'évider pour le rendre plus léger.

Lorsque le piston est horizontal, qu'il traverse le cylindre de part en part, et qu'il se compose de deux parties cylindriques, il est alors nécessairement assez lourd; il est bon de le soutenir à ses deux extrémités au moyen de deux petits chariots roulants munis de ressorts de suspension; la tension des ressorts est alors réglée de manière à porter tout le poids du piston, en annulant la pression du piston sur les parties métalliques du cylindre.

Enfin on doit toujours, comme nous l'avons dit, mesurer au dynanomètre l'effort nécessaire pour mettre en mouvement le piston, lorsque l'eau n'a aucune pression; ce frottement ne peut prendre naissance que si l'ajustage a été mal fait.

Toutes ces considérations s'appliquent à l'établissement des presses à caler les roues et aux machines à essayer les métaux; ces deux genres de machines sont très répandus dans les ateliers de construction.

Mesure des pressions. — La mesure des pressions se fera par l'un des procédés que nous avons décrits :

1° Si l'on désire avoir une grande précision, on emploiera une soupape à fuite comme celle qui est représentée Pl. I. On aura soin de relier la soupape à la presse hydraulique par une conduite d'un diamètre au moins égal à celui du piston de la soupape et sans étranglements. A côté de la soupape on placera un manomètre sans frottement ou bien un manomètre métallique quelconque dont la sensibilité

aura été bien constatée; on fera de temps en temps la vérification de la soupape au moyen de ce manomètre, comme nous l'avons indiqué.

La graduation de la soupape ne doit pas être inscrite en kilogrammes par centimètre carré, mais bien en tonnes d'effort de la presse; cette graduation sera calculée en tenant compte de la surface d'action du piston et du poids propre du piston ou du contrepoids de rappel; le frottement des cuirs sera complètement négligé.

2° On peut aussi employer un manomètre métallique, gradué par comparaison avec la soupape et construit comme nous l'avons indiqué. Si l'on emploie le manomètre métallique, il est inutile de mettre une soupape à côté de chaque presse hydraulique; tous les manomètres métalliques seraient alors gradués en kilogrammes par centimètre carré d'après une seule soupape étalon; on tracerait la graduation en tonnes à côté de la graduation en kilogrammes par centimètre carré, d'après les dimensions de la presse considérée.

3° On peut encore employer pour mesurer les efforts un appareil qui inscrit lui-même sur une feuille de papier les variations de pression dans la presse, appareil dont nous avons déjà parlé. Le papier porterait des traits parallèles horizontaux correspondant aux diverses valeurs de l'effort de la presse, de tonne en tonne.

Enfin on pourra, dans certains cas, employer une soupape à maximum comme celle qui est représentée Pl. I, *fig.* 5; cet appareil pourra servir dans l'opération de calage des essieux dans les roues; on sait que dans ce travail il ne faut pas dépasser une certaine pression de calage pour ne pas fausser l'essieu.

Nouvelle machine à essayer les bandages. — Comme application de l'étude qui précède, j'ai proposé une machine à essayer les bandages, qui est figurée Pl. II, *fig.* 3.

Pour essayer les bandages de chemins de fer, on pourrait se contenter d'un effort de 300 à 400 tonnes, mais il vaut mieux se donner une puissance de 500 tonnes pour prévoir les augmentions possibles de l'épaisseur et de la résistance des bandages.

La machine se compose d'une presse hydraulique à piston vertical pouvant exercer un effort de 500 tonnes pour une pression de 200 kilogr. par centimètre carré dans la presse; la course totale du piston est de 1 mètre. Pour arriver à essayer des bandages de diamètres différents, tout en conservant la totalité de la course du piston, le point d'attache supérieur N est susceptible de se mouvoir; la poulie A, mue par une courroie, fait tourner la pièce B qui fait écrou, et fait monter ou descendre la vis C; après avoir placé le bandage sur son attache inférieure M, le piston étant en bas de sa course, on fait descendre l'attache supérieure jusqu'au contact du bandage, qui est alors prêt à être essayé. De cette façon, la machine peut essayer des bandages de tous les diamètres, jusqu'à $2^m,200$. Une pièce D fixée au piston permet de suivre exactement les déplacements du piston, au moyen d'un index E (voir la coupe suivant xy), sans trop s'approcher du bandage soumis à l'essai.

L'eau arrive dans le cylindre par sa partie inférieure au moyen d'un raccord spécial qui contient un pointeau pour vider la presse en cas de gelée.

La communication avec l'appareil de mesure de la pression est faite en un point du cylindre un peu éloigné de l'entrée de l'eau pour éviter toute erreur due à la vitesse de l'eau.

Cette machine est destinée à remplacer l'essai au choc des bandages; elle aura sur cet essai l'avantage de donner la valeur de la résistance du bandage pour chaque valeur de la déformation.

La Compagnie du Midi a déjà reconnu l'avantage de l'essai statique et fait des essais de bandages au moyen de

presses hydrauliques quelconques; mais les manomètres employés généralement ne sont pas bien gradués. La compagnie d'Orléans a fait construire une grande machine d'essai du système Thomasset, pour essayer à la rupture des pièces de grosses dimensions, mais sa puissance n'est que de 100 tonnes.

Pour la machine que nous venons de décrire, on ne doit pas perdre de vue qu'il s'agit d'un essai purement *empirique* pouvant donner des indications très exactes, à la fois sur la dureté et sur la ductilité d'un bandage.

Pour fixer les conditions d'épreuves, on fera quelques essais sur des bandages reconnus comme étant de bonne qualité pour la pratique. On mesurera les déformations correspondant aux différentes valeurs de l'effort produit jusqu'à la rupture. On fixera un minimum et un maximum à la valeur de la déformation du bandage pour chaque valeur de l'effort; on écartera de cette façon les bandages trop durs ou trop doux.

En outre, on fixera un minimum à la valeur de la déformation totale du bandage. Bien entendu, les conditions d'essai doivent être fixées empiriquement pour chaque type de bandages.

Cet essai ne dispensera pas de l'essai des éprouvettes; seulement on pourra se contenter d'un seul essai par coulée; il servira à s'assurer de la bonne qualité du métal de la coulée.

On pourrait encore construire une machine analogue pour essayer les essieux, les rails ou des fers quelconques.

Dynamomètre pour mesurer les grands efforts.

Dans certains cas, on peut avoir à mesurer de grands efforts qui ne sont pas exercés par une presse hydraulique; le meilleur dynamomètre, dans ce cas, serait une petite presse hydraulique de la forme indiquée par la *fig.* 4, Pl. II.

Cet appareil se compose d'un piston A se mouvant dans un cylindre en acier B plein d'eau; le joint est fait par un cuir embouti ordinaire. La pression de l'eau est mesurée au moyen d'un manomètre métallique gradué avec la soupape; ce manomètre porte la graduation en tonnes à côté de la graduation en kilogrammes; le frottement du cuir est complètement négligé dans le calcul de la graduation en tonnes. La fuite par le cuir embouti est très faible; il est très facile de la réduire à moins de $\frac{1}{2}$ centim. cube par seconde à une pression de 500 kilog., et cela pour un diamètre de piston assez fort. Cependant le piston finira par arriver à fond de course si l'expérience dure longtemps. A ce moment, on n'aura qu'à supprimer l'effort, à ouvrir le pointeau E et à introduire de l'eau dans l'appareil par le tuyau D; on refermera le pointeau et l'appareil pourra servir de nouveau.

Le diamètre du piston sera calculé de façon à ne pas dépasser une pression de 500 kilog. par centimètre carré, pour ne pas avoir à faire des raccords trop délicats.

Cet appareil emprunte la plupart de ses dispositions à un dynamomètre dû à M. Westinghouse et à un autre appareil dû à M. Lebasteur; mais il en diffère par l'emploi du cuir embouti, pour faire le joint à la place d'un diaphragme en cuir ou en métal mince, qui peut donner, dans certains cas, des résistances considérables.

Le dynamomètre que nous venons de décrire peut aussi trouver son application pour la mesure des faibles efforts; il pourrait être employé avec avantage dans les expériences de traction des trains.

La mesure exacte des hautes pressions peut trouver son application dans bien des cas; nous citerons, par exemple,

la graduation des manomètres pour les bateaux-torpilles, pour les installations des grues hydrauliques, etc.

On peut aussi employer la soupape à fuite pour la graduation des manomètres des chaudières à vapeur, et surtout pour les manomètres étalons, d'après lesquels se fait le timbrage des chaudières; la précision du centième est bien suffisante pour ces appareils, et le maniement de la soupape est beaucoup plus simple que celui des manomètres à air libre, même pour les faibles pressions.

EXPLICATION DES PLANCHES

Planche I.

Fig. 1. — Ancienne soupape à siège. — Voir la description pages 112 et 113.

Fig. 2. — Soupape à piston rotatif. — Voir la description page 114.

Fig. 3. — Nouvelle soupape à fuite: détail de la soupape elle-même. — Voir la description pages 114 et suivantes.

Fig. 4. — Nouvelle soupape à fuite; ensemble de l'appareil. — Voir la cription pages 114 et suivantes.

Fig. 5. — Manomètre sans frottement pour mesurer les frottements de la soupape et des manomètres métalliques. — Voir la description pages 120 et 121.

Fig. 6. — Nouveau manomètre métallique d'un grand modèle. — Voir la description pages 122 et suivantes.

Fig. 7. — Soupape à maximum ou soupape de sûreté. — Voir la description pages 127 et 128.

Fig. 8. — Détails de la même soupape.

Fig. 9. — Figure théorique pour la théorie de la soupape. — Voir pages 129 et 130.

Fig. 10. — Figure théorique pour l'évaluation du frottement de l'eau. — Voir pages 131 et 132.

Planche II.

Fig. 1. — Installation de l'appareil qui nous a servi à mesurer le frottement des cuirs emboutis des presses hydrauliques. — Voir la description, pages 139 et suivantes.

Fig. 2. — Forme des cuirs emboutis employés dans l'expérience :

Épaisseur des cuirs	5 millim.
Hauteur du bord intérieur.	30 —
Hauteur du bord extérieur	35 —
Diamètre du piston A	275 —

Rapport de la hauteur du bord intérieur au diamètre du piston A . . . . $= \frac{30}{275} = \frac{1}{9,19}$

Le rapport $\frac{1}{9}$ est le plus convenable à employer dans la pratique.

Fig. 3. — Machine à essayer les bandages par compression.

Diamètre maximum du bandage essayé.	2^m,200
Effort maximum	500 tonnes.
Pression de l'eau pour un effort de. . 500 tonnes.	200 kilog. par centim. carré.
Course du piston	1 mètre.

Pour essayer le bandage on le place sur l'agrafe M, puis on fait descendre l'agrafe N jusqu'à son contact avec le bandage au moyen de la poulie A qui fait tourner l'écrou fixe B, en faisant descendre la vis mobile C; le bandage est alors essayé au moyen de la presse hydraulique.

L'eau entre dans le cylindre par le tuyau F.

Le robinet G sert à vider l'appareil en cas de gelée.

La conduite H fait communiquer le cylindre avec le manomètre. — Voir la description complète pages 149 et suivantes.

Fig. 4. — Dynamomètre servant à mesurer les grands efforts. — Voir la description pages 151 et 152.

TABLE DES MATIÈRES

TROISIÈME PARTIE.

APPLICATIONS.

NOTE ADDITIONNELLE (*)

SUR

LE RÉGIME DE LA SOURCE DE CAMOINS-LES-BAINS

(COMMUNE DE MARSEILLE)

Par M. VILLOT, ingénieur en chef des mines.

Dans les conclusions de la Note sur le régime de la source de Camoins-les-Bains, insérée dans la présente livraison (page 5), j'ai mentionné qu'une troisième question se posait relativement aux variations, non plus périodiques et annuelles, mais permanentes et définitives, que le voisinage du canal et les arrosages peuvent faire subir à la minéralisation de ladite source. J'ajoutais qu'on pouvait s'en rendre compte par des essais analogues à ceux dont je venais de parler, suffisamment prolongés. Sans être à même de résoudre aujourd'hui cette question, les archives du service m'ont fourni cependant quelques données qu'il paraît intéressant de faire connaître. Par suite d'une circonstance que j'indiquerai, elles n'ont pas un caractère de preuve absolue, mais, telles qu'elles sont, elles valent toutefois qu'on les mentionne.

Le 12 septembre 1861, M. Noblemaire, alors ingénieur à Marseille, à l'occasion de la demande en déclaration d'intérêt public, dosa le soufre dans la source et y trouva par litre une quantité de $2^{millig.}$,86.

(*) Cette *Note*, parvenue pendant la mise en pages, n'a pu être insérée, commme il l'aurait fallu, à la suite même de la *Note* antérieure.

Le 8 février 1866, à propos de la demande d'autorisation d'exploitation des eaux du puits Michel, disparu depuis, j'ai moi-même trouvé 6$^{millig.}$ de soufre par litre, dans la même source des Camoins.

Mettons ces teneurs en regard de celles qui ont été trouvées en 1879 aux mêmes époques de l'année.

SEPTEMBRE.

1861	1879
2$^{millig.}$,86	1$^{millig.}$,10

FÉVRIER.

1866	1879
6$^{millig.}$,00	3$^{millig.}$,50

Il en résulte qu'en septembre 1861 la source des Camoins était 2,6 fois plus riche qu'en septembre 1879, et qu'en février 1866 elle était 1,7 plus riche qu'en 1879.

Tout paraît donc se passer comme si d'année en année la cause qui minéralise les eaux des Camoins perdait en intensité, les diminutions se produisant aussi bien en septembre, c'est-à-dire au moment où les arrosages jettent dans le sous-sol des quantités d'eau considérables, qu'en février, période pendant laquelle on peut considérer l'eau comme offrant son maximum d'intensité sulfureuse et médicinale.

Un motif doit faire peser un doute sur l'absolu de cette conclusion; c'est qu'en 1867 on a changé, en approfondissant la galerie de captage, le point d'émergence de la source qui auparavant sortait à l'angle de la maison d'Heureux, latéralement à la galerie, et qui maintenant s'échappe au fond de cette galerie, au point où on la voit aujourd'hui.

Que l'on ait affaire à la même source, cela ne peut faire évidemment question, mais que ce changement n'ait pas eu pour effet de modifier quelque peu la teneur de l'eau en

soufre, c'est ce qu'il serait téméraire d'affirmer d'une manière absolue. C'est donc sous la réserve de ce doute que je présente les considérations qui précèdent relativement à un point qu'il serait assurément intéressant d'éclaircir : la modification continue et permanente de la composition de l'eau d'une source, par suite de circonstances qui n'ont rien d'exceptionnel, à savoir, la présence d'un canal ou de prairies à l'arrosage dans son voisinage.

Marseille, 24 mars 1881.

RECHERCHES

SUR

LES EAUX DE LA SAVOIE

Par M. DELESSE, inspecteur général des mines.

Un laboratoire institué à Annecy par M. le ministre des travaux publics, sur l'initiative de M. J. Dumas, avait spécialement pour but d'étudier, au point de vue de l'hygiène, la composition des eaux de la Savoie et de rechercher leur influence sur le goître et sur le crétinisme. Pendant quelques années, un chimiste, M. Lheureux, a été chargé de ce laboratoire, dans lequel il a exécuté un assez grand nombre d'analyses d'eaux. La méthode qu'il suivait est celle qui est indiquée dans le *Traité des eaux* de M. A. Gautier.

Le résidu de l'évaporation de l'eau était chauffé à 100°, pesé, puis calciné, de manière à chasser l'eau restante et à détruire les matières organiques; ensuite il était pesé de nouveau, et l'on y dosait successivement toutes les matières minérales.

Toutefois on n'a pas recherché celles de ces matières qui se trouvaient en très petite quantité, mais dont la présence aurait pu être décelée par l'analyse spectrale. On ne s'est pas occupé de l'iode qui existe dans la plupart des eaux douces naturelles, et dont l'absence ou l'insuffisance doit, d'après M. Chatin, contribuer à la formation du goître. On n'a pas dosé les nitrates; car, lorsqu'il y en avait, ils se réduisaient à des traces.

On n'a pas dosé non plus les gaz qui étaient en dis-

solution dans l'eau ; cependant ces gaz modifient beaucoup la qualité de l'eau qui sert à l'alimentation, et, comme l'a fait observer M. Boussingault, l'oxygène est surtout important à connaître.

D'un autre côté, on a déterminé le degré hydrotimétrique de la plupart des eaux qui ont été analysées, et, en définitive, il diminue ou il augmente dans le même sens que le résidu laissé par l'évaporation des eaux. Toutefois, si les eaux contenant très peu de matières minérales marquent un faible degré, celles qui en sont chargées ne donnent pas toujours un degré très élevé ; et sous ce rapport il est facile de constater des anomalies dans les indications de l'hydrotimètre.

Quoi qu'il en soit, M. Lheureux a exécuté par la même méthode une série d'analyses d'eaux de la Savoie, et, bien qu'il n'ait guère dosé que les principales matières minérales, les résultats obtenus sont comparables entre eux, en sorte que leur étude offre de l'intérêt.

Mais il était nécessaire de faire connaître aussi la provenance et le gisement des eaux analysées.

En particulier il fallait indiquer si elles provenaient d'une source, d'un puits, d'un ruisseau, d'un marais ou d'un lac.

En ce qui concerne le gisement, il y avait lieu d'indiquer les terrains géologiques desquels les eaux émergeaient, et, lorsque c'était possible, les terrains à travers lesquels elles avaient filtré dans leur parcours souterrain. On sait, en effet, que la nature de ces terrains exerce la plus grande influence sur la composition chimique des eaux.

Le gisement des eaux analysées a été déterminé, soit par des observations de M. l'ingénieur Léon Lévy, soit en rapportant leur position sur les cartes géologiques de la Savoie qui ont été dressées par M. Alphonse Favre, ainsi que par MM. Lory, Pillet et l'abbé Vallet.

Comme la composition d'une eau varie avec la saison ou avec l'époque à laquelle on la recueille, cette époque a été

mentionnée spécialement dans l'une des colonnes du tableau. Pour abréger ce renseignement, le chiffre arabe marque dans la colonne la date du mois, le chiffre romain le mois lui-même et le dernier chiffre désigne l'année de la prise d'eau.

Enfin diverses données offrant de l'intérêt au point de vue de l'étude du goître et du crétinisme ont encore été réunies. Une colonne spéciale fait connaître l'altitude moyenne et approximative des villages. Une dernière colonne, dite des Observations, réunit ce qui concerne spécialement l'hygiène des habitations, savoir : leur exposition, la facilité avec laquelle l'air s'y renouvelle, leur voisinage de marais, la qualité attribuée aux eaux qui servent à la boisson, ainsi que le nombre des goîtreux et des crétins se trouvant dans chaque village.

En définitive toutes les eaux de la Savoie analysées par M. Lheureux ont été réunies sur un tableau qui, pour chacune d'elles, fournit les notions les plus importantes sur leur composition, sur leur gisement et sur leurs propriétés (voir ce tableau, page 170). Elles sont ordonnées d'après le poids du résidu, chauffé à 100°, qui a été laissé par l'évaporation d'un litre, en sorte que les eaux les plus chargées de matières minérales sont au commencement du tableau, et les eaux qui en ont le moins vers la fin.

La comparaison des nombreuses analyses données par ce tableau permet de formuler quelques conclusions : 1° relativement à l'influence des terrains sur la composition des eaux ; 2° relativement à l'influence que cette composition exerce elle-même sur la santé et, en particulier, sur le développement du goître.

1° *Influence des terrains sur la composition des eaux.* — La nature minéralogique et géologique des terrains exerce une grande influence sur la composition des eaux. Il est facile de le constater en comparant la composition des

sources qui surgissent, par exemple, du granit, de la protogine, du gneiss, du trachyte, des sables quartzeux, des quartzites, avec celles qui viennent du calcaire, des marnes, des argiles et surtout des terrains gypseux ou salifères. Toujours les eaux provenant des premiers terrains sont beaucoup plus pures que celles sortant des seconds; ces dernières sont, au contraire, plus ou moins chargées de carbonate et de sulfate de chaux; car les calcaires argileux contiennent habituellement de la pyrite de fer qui s'oxyde et donne lieu à la formation de gypse. On conçoit, d'ailleurs, que les eaux souterraines doivent dissoudre légèrement les terrains à travers lesquels elles s'infiltrent; ainsi, lorsque ces terrains seront très riches en silice, elles pourront dissoudre de petites quantités de silice; tandis que si les terrains sont calcaires ou gypseux, elles dissoudront des quantités beaucoup plus grandes de carbonate et de sulfate de chaux.

Si l'on considère des sources thermales, au lieu de sources froides, les terrains desquels sortent leurs griffons exercent encore une influence bien manifeste sur leur composition. De plus, comme elles sont à une température élevée, elles dissolvent plus facilement les éléments des roches qu'elles rencontrent sur leur trajet; elles peuvent même être fortement chargées de matières minérales peu solubles et notamment de silice, qu'elles déposent en se refroidissant (geysers).

Maintenant il importe d'observer que la composition d'une source ne dépend pas seulement du terrain duquel elle surgit. Car, avant d'arriver à son point d'émergence, l'eau atmosphérique qui lui donne naissance s'est infiltrée lentement à travers la surface du sol et la terre végétale, puis à travers tous les terrains perméables qu'elle a rencontrés. Son trajet souterrain est souvent très long et très complexe; il est même assez rare que l'eau se soit infiltrée dans un seul terrain ou tout au moins dans une couche

unique. En résumé, la variété minéralogique des terrains qu'elle a traversés tend à compliquer beaucoup sa composition chimique.

Il est encore nécessaire d'avoir recours à un autre ordre de faits qui, indépendamment des terrains, tendent à modifier la composition chimique des eaux ; ils sont relatifs à la manière dont les eaux sont recueillies.

Les eaux de sources amenées par des canaux ou des conduits se débarrassent en partie des matières qu'elles retiennent en dissolution. Lorsque cette particularité se présentait pour les eaux de la Savoie, elle a été indiquée dans le tableau.

Les eaux des puits sont toujours beaucoup plus chargées que celles des sources qui viennent dans les mêmes terrains ; elles se renouvellent, en effet, avec plus de lenteur, et il s'y produit une évaporation qui tend à y concentrer les matières minérales dissoutes. Il faut surtout observer que les puits sont presque toujours à proximité des habitations, en sorte qu'ils reçoivent des infiltrations de toute nature. Leur propre maçonnerie et les maisons voisines sont lavées par les eaux pluviales, et ces dernières peuvent introduire ainsi beaucoup de sels calcaires dans les eaux qui alimentent les puits. Ce résultat est particulièrement très sensible lorsque les puits se trouvent au milieu de constructions en plâtre qui sont déjà anciennes et salpêtrées. M. Boussaingault l'a reconnu pour divers puits de Paris, et les cartes hydrologiques de Paris et du département de la Seine permettent de bien le constater (*).

Comparons maintenant les analyses des eaux de la Savoie qui ont été faites par M. Lheureux avec les terrains desquels ces eaux proviennent (voir le tableau placé en regard de la page 170).

(*) Delesse : *Cartes hydrologiques de la ville de Paris et du département de la Seine.*

Si l'on considère d'abord le résidu de l'évaporation laissé par 1 litre, il peut être très faible et se réduire à quelques dix-millièmes ; c'est ce qui a lieu pour la protogine (87) et pour le terrain anthracifère (88, 86, 85) c'est-à-dire pour les roches essentiellement quartzeuses. Mais quand les roches contiennent du calcaire, le résidu dépasse toujours 1 millième et même il est ordinairement supérieur à 2 millièmes. On peut alors constater que les eaux proviennent du calcaire jurassique ou néocomien, de la mollasse marine ou lacustre, des dépôts glaciaires ainsi que des alluvions anciennes ou modernes.

Lorsque le résidu s'élève à 3 millièmes l'on a déjà des eaux chargées, dans lesquelles le carbonate de chaux seul peut dépasser 2 millièmes.

Les eaux provenant de roches calcaires donnent, dans certains cas, un résidu montant à 5 millièmes; celles dont le résidu est encore plus élevé sont en très petit nombre. Le résidu atteint exceptionnellement 1,925 à Viry (2) et à 2,635 à Aiguebelle (1), commune dont le nom n'est guère en rapport avec la mauvaise qualité de ses eaux.

C'est particulièrement dans les schistes du lias et surtout dans les couches contenant du gypse qu'on obtient un résidu élevé.

Bien que la source d'Aiguebelle sorte des micaschistes, il est facile d'expliquer pourquoi elle est aussi chargée de matières minérales, car son point d'émergence ne se trouve guère qu'à 200 mètres du contact des schistes cristallins avec les schistes liasiques. Si l'on remarque, d'un autre côté, que le terrain triasique avec amas de gypse affleure à moins d'un kilomètre de ce point, à Randens, sur l'autre versant de la vallée de l'Arc, il est permis de supposer qu'il se prolonge jusqu'au-dessus d'Aiguebelle, sous les schistes du lias, et que les eaux alimentant cette localité circulent dans le trias, avant de traverser les micaschistes.

Il est à observer que, tant que le résidu des eaux de la

Savoie est limité à quelques millièmes, c'est le carbonate de chaux qui domine, et il y a très peu de sulfate de chaux; mais le résidu devient-il très élevé, indépendamment du carbonate de chaux, il contient aussi beaucoup de sulfate de chaux.

La silice est toujours en petite quantité dans le résidu de l'évaporation, lors même que ce dernier est considérable; ordinairement, elle reste inférieure à un dix-millième, et il est rare qu'elle dépasse deux dix-millièmes. Il est remarquable qu'on en trouve très peu dans les eaux provenant des roches granitiques et quartzeuses qui renferment cependant beaucoup de silice, mais à un état très peu soluble, celui de quartz; tandis que c'est dans les eaux s'infiltrant à travers les marnes qu'il y en a le plus, surtout lorsque ces eaux sont le plus chargées de matières minérales.

Les chlorures alcalins atteignent rarement un demi dix-millième; c'est dans la mollasse qu'ils semblent le plus abondants; ce qui s'expliquerait par son origine marine plus récente. Accidentellement les chlorures alcalins peuvent atteindre près de deux dix-millièmes (6.17). Dans les schistes ardoisiers du lias à Chatel (5) on a encore trouvé 0,016 de chlorures alcalins. Enfin il n'y a pas moins de 0,170 de chlorure de sodium dans l'eau de Loex (4) qui est d'ailleurs une eau minérale.

Quant au carbonate de potasse, lorsqu'il existe, il se réduit à des traces ou à des quantités très minimes.

Enfin le phosphate de chaux devait naturellement se trouver dans le résidu de l'évaporation d'eaux ayant toutes filtré à travers la terre végétale; mais le plus généralement il est en quantité trop petite pour être dosé.

Tels sont les principaux résultats fournis par l'analyse des eaux provenant des divers terrains de la Savoie.

2° *Influence de la composition des eaux sur la santé.* —

Cherchons maintenant à apprécier quelle est l'influence de la composition des eaux sur la santé, particulièrement sur le goître et sur le crétinisme, maladies qui s'accompagnent ordinairement et sont quelquefois réunies sur le même individu.

On sait que cette composition exerce une influence incontestable sur la santé; aussi, lorsqu'il s'agit d'approvisionner d'eau un centre de population, se conformant à l'exemple donné par les Romains, on a toujours soin de faire venir l'eau la plus pure, même au prix des plus grands sacrifices.

La règle généralement admise est que l'eau marque au plus 25° à l'hydrotimètre, ou mieux que le résidu de l'évaporation d'un litre ne dépasse pas 0gr,3; car, lorsque les eaux contiennent plus de matières minérales, elles cuisent mal les légumes et elles rendent la digestion pénible.

Si l'on s'occupe spécialement des causes qui contribuent à développer le goître, elles paraissent extrêmement complexes; mais le tableau permet cependant de se rendre compte de l'influence des matières minérales en dissolution dans les eaux. En effet, les analyses sont ordonnées relativement à la proportion de ces matières, et lorsqu'il existe des goîtreux ou des crétins, leur nombre est habituellement indiqué en même temps que le chiffre de la population.

Il est facile de constater que généralement le goître est rare lorsque les eaux donnent un faible résidu à l'évaporation, tandis qu'il est commun dans le cas contraire.

Toutefois des exceptions doivent être signalées à cet égard : car à Bon-Conseil (84) et à Bellentre (88) les eaux ne contiennent que très peu de matières minérales, et cependant les goîtreux et crétins représentent près de 0,15 de la population.

D'un autre côté, des eaux donnant un résidu de 0gr,7, comme à Loex (4) ou même de 1gr,925, comme à Viry (2), ne sont pas signalées comme donnant le goître.

Contrairement à une idée qui avait été formulée par M. Grange, il ne paraît pas que les eaux des villages dans lesquels il y a le plus de goîtreux soient particulièrement riches en magnésie. En Savoie, il y a même très peu de chlorure de magnésium ou de carbonate de magnésie dans les eaux; et, d'un autre côté, l'eau de Loex (4), qui contient beaucoup de sulfate de magnésie, n'est pas mentionnée comme nuisible.

Habituellement les eaux signalées comme donnant le goître laissent un résidu élevé par l'évaporation; elles contiennent beaucoup de carbonate de chaux et surtout de sulfate de chaux. Ce dernier sel paraît même tendre spécialement à développer le goître.

En ce qui concerne l'origine des eaux, il est à remarquer que celles provenant de la mollasse, qui sont chlorurées, mais chargées de matières minérales, semblent aussi exercer une influence malfaisante.

En résumé, les eaux qui contiennent une forte proportion de matières minérales exercent incontestablement une influence nuisible sur la santé, et l'on boit généralement de pareilles eaux dans les localités de la Savoie où les habitants sont affligés de goître et de crétinisme. Il est possible aussi que, dans ces localités, les eaux employées à la boisson ne contiennent pas des quantités suffisantes d'oxygène et d'acide carbonique; qu'elles proviennent presque directement de la fonte des neiges ou des glaciers; que, par suite, elles soient trop peu aérées et qu'elles aient en outre une température trop basse.

Quoi qu'il en soit, comme le remarque M. Bouchardat (*), dans toutes les contrées du monde où le goître et le crétinisme règnent endémiquement, les faits observés, d'accord avec l'opinion populaire, établissent qu'une ac-

(*) *Annuaire des eaux de la France:* De l'influence de la qualité des eaux sur les maladies du goître et du crétinisme (p. 278).

tion prépondérante doit être attribuée aux eaux potables.

Il faut ajouter cependant que le goître et le crétinisme paraissent aussi pouvoir résulter de causes multiples et très complexes; en réalité ces déplorables maladies ne dépendent pas exclusivement de la qualité des eaux potables, ni même d'une cause unique quelconque.

Ainsi l'altitude semble les favoriser; car des populations vivant à peu près à une hauteur de mille mètres en sont fortement atteintes, bien que leurs eaux contiennent peu de matières minérales. D'un autre côté, des populations qui ont dans les mêmes conditions d'altitude se trouvent complètement exemptes de ces mêmes maladies, bien qu'elles boivent des eaux très chargées de matières minérales (5, 6, 12). Selon M. Chatin, ces résultats peuvent être attribués à ce que la vapeur d'iode, répandue en petite quantité dans l'atmosphère, va en diminuant à mesure que l'altitude augmente, et aussi à ce que sa proportion dépend de la nature des terrains sous-jacents qui contribuent à la fournir.

Il est d'ailleurs un ensemble d'autres causes desquelles il est indispensable de tenir grand compte. On a signalé notamment l'humidité des habitations occasionnée tantôt par des noyers ou par certains arbres qui les recouvrent, tantôt par le débordement de marais; la privation de soleil résultant d'une exposition au nord, ou bien d'une situation dans des vallées profondes; l'absence de maisons saines et bien construites et surtout l'absence de bien-être et d'une bonne nourriture.

Toutes ces particularités se remarquent dans les villages de la Savoie où le goître est endémique. Bien des maisons sont adossées contre le rocher afin d'économiser la construction d'un mur. Une autre cause d'insalubrité résulte du mauvais état des chemins dont la déclivité varie souvent brusquement d'un sens à l'autre, en sorte qu'il se forme des bas-fonds où l'eau séjourne constamment.

es à Anne

Fe^2O^3 Al^2O^3	CaO, CO^2	approximative.	OBSERVATIONS.
		RES	
"	0,020	21	Eau très chargée de sulfate de chaux ; donne le goître. Goîtreux 60, crétins 40, sur 1.090 habitants.
0,0125	0,4215	08	Population 1.684 hab.; aucun goîtreux. Eau réputée mauvaise.
0,011	0,200		
		52	Habitants goîtreux et rachitiques. Population 657 hab. Goîtreux 19, crétins 3.
		"	Pop. 129. Aucun goîtreux. Eau recherchée par les bestiaux
0,0087	0,183	49	60 goîtreux, 5 crétins, 18 goîtreux et crétins. Pop. 899.
"	0,170	"	Eau réputée bonne.
0,017	0,175	98	32 goîtreux. Pop. 612. Village au voisinage de marais.
0,006	0,200		
		"	Village situé au levant, bien aéré. La santé des habitants est parfaite.
0,003	0,195	92	Pop. 646. Pas de goîtreux.
0,018	0,183		
		09	48 goîtreux sur 968 habitants.
0,003	0,168	49	60 goîtreux, 5 crétins, 18 goîtreux et crétins. Pop. 899.
0,0175	0,175	92	Pop. 646. Pas de goîtreux.
0,004	0,190	"	Village bien aéré. La population compte peu de goîtreux.
0,005	0,1825		
		"	Santé des habitants parfaite. Village situé au levant, bien aéré.
0,004	0,185	"	Village bien aéré. La population compte peu de goîtreux.
0,0075	0,175		
		785	23 goîtreux sur 1961 habitants.
tr.	0,160	68	Le hameau Chevaline a 2 goîtreux sur 152 habitants.
0,175	tr.	586	Aucun goîtreux. Pop. 447 habitants.
0,001	0,150	581	Aucun goîtreux. Pop. 316 habitants.
0,006	0,175	"	(*Déjà cité*).
0,006	0,140	754	2 goîtreux sur 1.433 habitants.
0,005	0,136		
		324	15 goîtreux, 1 crétin sur 803 habitants.
"	0,055	209	1 goîtreux et 1 goîtreux et crétin. Pop. 494 habitants.
0,011	0,125	507	Pop. 3079. Pas de goîtreux.
tr.	0,141	511	Pop. 471. Pas de goîtreux.
0,002	0,050	280	2 goîtreux, 2 crétins, et 2 goîtreux et crétins. Pop. 271.
0,005	0,124	347	Village bien aéré. Eau potable. Pop. 488. Pas de goîtreux.
0,005	0,100	335	La population est la plus belle de la Tarentaise. Habitations saines et non ombragées. 41 goîtreux, 5 crétins, 1 idiot, sur 1.180 habitants.
tr.	0,110	347	Village bien aéré. Eau potable. Pop. 488. Pas de goîtreux.
0,008	0,060	782	104 goîtreux, 31 crétins, 7 goîtreux et crétins. Pop. 958.
0,004	tr.	241	Aucun goîtreux sur 665 habitants.
0,0112	0,030	209	1 goîtreux, 1 goîtreux et crétin sur 494 habitants.
0,010	0,015	044	Eau potable, très bonne. 3 crétins sur 2.304 habitants.
"	0,020	782	104 goîtreux, 31 crétins, 7 goîtreux et crétins. Pop. 958.

Lille Imp. L. Danel.

Enfin il faut principalement mentionner l'influence de la race, de l'hérédité et d'un tempérament lymphatique. Les populations de montagnes sont, en effet, très attachées à leur sol natal, sur lequel elles se perpétuent depuis des époques très reculées, en transmettant leurs difformités à leurs descendants. On a constaté, au contraire, que le crétinisme tend à diminuer dans les régions où la race indigène arrive à se croiser avec les races étrangères.

SUR LA

MÉTHODE EMPLOYÉE PAR D'AUBUISSON

EN 1810

POUR LA MESURE DES BASES GÉODÉSIQUES

Extrait d'une lettre de M. LAUSSEDAT à M. le secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences (*).

On sait que, jusque dans ces derniers temps, les appareils destinés à la mesure des bases se composaient d'un certain nombre de règles placées bout à bout sur l'alignement de la base, et formant ce que les géodésiens appelaient une *portée*. La première règle de cette portée était ensuite placée à la suite de la dernière, et les différentes règles venaient prendre successivement leur place l'une après l'autre pour former une nouvelle portée. Les inconvénients de cette méthode sont nombreux : ainsi les règles ne pouvaient pas être placées exactement au contact l'une de l'autre, et il fallait mesurer le petit intervalle qui les séparait; les règles, généralement au nombre de quatre, n'avaient pas rigoureusement la même longueur, et leur étalonnage prenait un temps considérable. L'idée d'employer une seule règle, transportée successivement entre des repères placés sur l'alignement de la base, a donc été adoptée comme procurant une grande simplification, en même temps qu'une garantie de précision. La longueur de cette règle n'était plus comptée entre ses extrémités elles-mêmes, mais entre deux traits voisins de ces extrémités et faciles à observer.

On attribue généralement cette idée heureuse au major

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCI, p. 922. Séance du 6 décembre 1880.

piémontais Porro, qui était établi à Paris en 1848 ou 1849, et qui la fit connaître en effet vers cette époque. J'ai assisté aux explications qu'il donna alors aux officiers du Dépôt de la guerre, explications à la suite desquelles M. le lieutenant-colonel Hossard fit exécuter, en 1854, la règle qui a servi, en 1866 et 1867, à M. le lieutenant-colonel Perrier (alors capitaine), pour la mesure des bases de Bone et d'Oran.

J'avais également été témoin de la belle opération faite par les officiers espagnols, en 1858, pour mesurer la base centrale de Madridejos, destinée à servir de premier côté à la triangulation de la pénincule. Or cette opération, dont j'ai eu l'honneur de rendre compte à l'Académie, avait été effectuée avec une seule règle bimétallique, construite par notre grand artiste Brunner, et nous étions tous convaincus qu'elle était la première qui eût été entreprise dans le nouveau système dû au major Porro.

Je crois donc que toutes les personnes qui ont eu ou qui auront l'occasion de mesurer des bases me sauront gré de leur indiquer le passage suivant d'un mémoire de M. d'Aubuisson, ingénieur des mines (*), lu à la classe des sciences mathématiques et physiques de l'Institut le 26 mars et le 9 avril 1810, et sur lequel MM. Laplace, Biot et Arago avaient fait un rapport le 22 mai de la même année. Elles reconnaîtront sans doute que la nouvelle méthode, recommandée désormais exclusivement, si je ne me trompe, par la commission géodésique internationale, a été pratiquée, il y a plus de soixante-dix ans, avec beaucoup d'habileté par notre compatriote d'Aubuisson.

Il s'agissait de mesurer, dans la plaine du Piémont, au nord de Turin, une base destinée à appuyer des opérations trigonométriques ayant pour objet la détermination de la

(*) Voir, sur M. d'Aubuisson, la notice nécrologique insérée aux *Annales des mines*, 4e série, t. XI, (1847), p. 667 : *Notice nécrologique sur M. d'Aubuisson de Voisins, ingénieur en chef-directeur des mines*, par M. de Boucheporn, ingénieur des mines.

hauteur du sommet du mont Gregorio, à l'entrée de la vallée d'Aoste. Voici le passage en question :

« Pour mesurer cette base, nous fîmes faire à Turin, par le mécanicien de l'Académie, en même temps vérificateur des poids et mesures métriques, une grande règle en bois de sapin, ayant $5^m,01$ de longueur; ses extrémités furent garnies en cuivre, et l'on y marqua, avec toute l'exactitude possible, par deux lignes transversales, le commencement et la fin des 5 mètres. L'étalon qui fut employé à cette graduation était en fer et avait été fait sur un des treize originaux remis aux députés du Piémont lors de l'établissement du système métrique. Sa température était de 13° C. lors de la division.

« Le même mécanicien nous fit, en outre deux espèces de boîtes de cuivre, destinées à recevoir les extrémités de la règle. Elles se plaçaient sur la tête du piquet (planté sur l'alignement de la base) et s'y fixaient, lorsqu'il était nécessaire, à l'aide d'une vis de pression. On avait tracé, sur la partie supérieure, une ligne destinée à coïncider avec celle marquée sur l'extrémité de la règle qui reposait dessus.

« Lorsqu'on voulut procéder à la mesure de la base, on fixa une boîte sur le piquet n° 1 ; on plaça l'autre sur le n° 2, mais sans l'y arrêter; on posa ensuite la règle de manière que la division 0^m coïncidât parfaitement avec la ligne tracée sur la première boîte, et l'on avança la seconde jusqu'à ce qu'il y eût coïncidence entre sa ligne et la division 5^m; alors on serra les vis, et la première distance fut mesurée. On enleva la première boîte et on la porta sur le piquet n° 3; la règle fut posée de manière que la division 0^m répondît exactement à la ligne de la boîte restée fixe sur le n° 2; alors on disposa l'autre boîte sur le n° 3, comme il avait été précédemment fait sur le n° 2; ainsi de suite...

« Nous mîmes à ce travail tout le soin et l'exactitude dont nous étions susceptibles, et, quoique nous n'eussions que 134 distances ou 670 mètres à mesurer, et que les piquets eussent été préparés et alignés d'avance, cette seule opération nous occupa quatre jours (*). »

Paris, le 4 décembre 1880.

(*) *Mémoire sur la mesure des hauteurs à l'aide du baromètre*, par M. d'Aubuisson, ingénieur au corps impérial des mines, inséré dans le *Journal de physique*, cahiers de juin 1810, p. 42, et de juillet, p. 5.

STATISTIQUE
de l'Industrie minérale de la France.

TABLEAUX COMPARATIFS DE LA PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX, DES FONTES, FERS ET ACIERS, EN 1879 ET EN 1880. (*)

I. — Combustibles minéraux.

PRODUCTION PAR DÉPARTEMENT.

DÉPARTEMENTS.	NATURE DU COMBUSTIBLE.	PRODUITS. 1879	PRODUITS. 1880
		tonnes.	tonnes.
Ain	Lignite	328	327
Allier	Houille et anthracite	807.968	916.513
Alpes (Basses-)	Lignite	39.807	33.796
Alpes (Hautes-)	Anthracite	6.164	6.211
Ardèche	Idem	22.770	24.453
	Lignite	1.188	1.603
Aude	Idem	218	132
Aveyron	Houille	670.666	679.068
	Lignite	3.971	3.770
Bouches-du-Rhône	Idem	431.418	460.077
Calvados	Houille	5.317	4.455
Cantal	Idem	2.243	2.314
Corrèze	Idem	4.464	4.383
Côte-d'Or	Houille et anthracite	7.789	9.825
Creuse	Idem	170.338	166.862
Dordogne	Lignite	1.953	2.720
Drôme	Idem	215	200
Gard	Houille	1.632.231	2.039.494
	Lignite	21.393	18.551
Hérault	Houille et anthracite	231.622	227.536
	Lignite	455	425
Isère	Anthracite	104.330	118.282
	Lignite	2.290	2.040
Landes	Idem	»	40
Loire	Houille et anthracite	3.109.527	3.545.612
Loire (Haute-)	Houille	213.181	225.153
Loire-Inférieure	Anthracite	21.255	17.654
Lot	Houille	1.684	1.452
Maine-et-Loire	Anthracite	31.387	32.859
Mayenne	Houille et anthracite	65.174	62.871
Nièvre	Houille	180.796	217.851
Nord	Houille et anthracite	3.273.513	3.647.144
Pas-de-Calais	Houille	4.175.573	4.846.760
Puy-de-Dôme	Houille et anthracite	174.232	184.036
Pyrénées (Basses-)	Anthracite	56	»
Pyrénées-Orientales	Lignite	1.439	1.585
Rhône	Houille	34.343	33.940
Saône (Haute-)	Idem	164.143	184.546
	Lignite	10.914	10.480
Saône-et-Loire	Houille et anthracite	1.084.656	1.273.570
Sarthe	Anthracite	18.212	19.463
Savoie	Idem	14.108	14.110
Savoie (Haute-)	Houille	120	»
	Lignite	2.518	2.313
Sèvres (Deux-)	Houille	17.776	21.515
Tarn	Idem	293.800	306.870
Var	Houille et anthracite	6.287	3.890
	Lignite	3.000	1.810
Vaucluse	Idem	6.905	7.126
Vendée	Houille	21.876	18.635
Vosges	Lignite	5.976	7.790
Récapitulation	Houille et anthracite	16.576.901	18.857.327
	Lignite	534.078	554.785
	Totaux	17.110.979	19.412.112
Augmentation			2.301.133

(*) Ces tableaux ont été publiés, par ordre de M. le Ministre des Travaux publics, au *Journal Officiel* du 1er mars 1881. Les chiffres concernant l'année 1880 sont extraits des états *semestriels* fournis par les Ingénieurs des mines et, par suite, *provisoires ;* tandis que la statistique de 1879, résultant du dépouillement des états *annuels*, contient des chiffres *définitifs*

PRODUCTION PAR BASSIN.

NOMS DES GROUPES GÉOGRAPHIQUES DE BASSINS.	PRODUITS. 1879	PRODUITS. 1880	NOMS DES BASSINS ÉLÉMENTAIRES. (1)	PRODUITS. 1879	PRODUITS. 1880
	tonnes	tonnes		tonnes	tonnes
I. — Houille et Anthracite.					
Nord et Pas-de-Calais	7.449.086	8.403.904	Valenciennes	7.355.269	8.398.689
			Le Boulonais (Hardinghen)	93.817	95.215
Loire	3.147.166	3.591.699	Saint-Étienne	3.104.757	3.542.129
			Sainte-Foy-l'Argentière	34.343	33.940
			Communay	3.296	12.147
			Le Roannais (Roanne)	4.770	3.483
Gard	1.655.001	2.063.947	Alais	1.634.742	2.050.758
			Le Vigan	12.243	10.430
			Aubenas	8.016	2.759
Bourgogne et Nivernais	1.320.235	1.550.464	Creusot et Blanzy	937.978	1.119.675
			Decize	189.796	217.851
			Epinac et Aubigny-la-Ronce	121.479	131.974
			Bert	37.994	49.218
			La Chapelle-sous-Dun	26.149	23.841
			Sincey, *Forges*	6.839	7.905
Tarn et Aveyron	966.150	987.390	Aubin	658.659	666.045
			Carmaux	293.800	306.870
			Rodez	12.007	13.023
			Saint-Perdoux	1.684	1.452
Bourbonnais	897.425	997.295	Commentry (et Doyet)	736.682	831.759
			Saint-Eloy	127.451	130.000
			L'Aumance (Buxière-la-Grue)	33.292	34.091
			La Queune (Fins et Noyant)	»	1.445
Auvergne	262.205	281.503	Brassac	229.362	250.799
			Langeac	27.823	24.675
			Champagnac et Bourg-Lastic	5.020	6.029
Hérault	231.622	227.536	Graissessac	231.622	227.536
			Montoulieu, Roujan	»	»

Ouest	181.297	177.452	Le Maine	81.876	81.579
			Basse-Loire	52.942	50.513
			Vouvant et Chantonnay	39.652	40.150
			Le Cotentin (Littry, *Le Plessis*)	5.317	4.455
			Saint-Pierre-La-Cour	1.510	755
Creuse et Corrèze	174.802	171.245	Ahun	168.320	164.790
			Cublac (Terrasson), Meymac et Argentat	4.464	4.383
			Bourganeuf	2.018	2.072
Vosges méridionales	164.143	184.546	Ronchamp	164.143	184.546
Alpes occidentales	121.426	126.456	Le Drac (La Mure)	100.390	105.420
			Maurienne-Tarentaise et Briançon	20.272	20.321
			Oisans (et le Graisivaudan)	644	715
			Chablais et Faucigny	120	»
Les Maures	6.287	3.890	Les Maures (Fréjus)	6.287	3.890
Pyrénées	56	»	Ibantelly, *Durban* et *Ségure*	56	»
Totaux pour les houilles	16.576.901	18.857.327		16.576.901	18.857.327

II. — Lignite.

Provence	474.225	495.683	Fuveau (Aix)	432.918	460.487
			Manosque	39.807	33.796
			La Cadière	1.500	1.400
Languedoc et Comtat	29.994	27.549	Bagnols, Orange, Banc-Rouge, *Vagnas*	24.055	22.001
			Barjac et Célas	4.362	3.491
			Méthamis	904	1.500
			La Caunette	673	557
Vosges méridionales	16.890	18.270	Gouhenans	10.914	10.480
			Norroy, *Gémonval*	5.976	7.790
Trois autres groupes	12.969	13.283	7 bassins exploités, *4 inexploités*	12.969	13.283
Totaux pour les lignites	534.078	554.785		534.078	554.785
Totaux généraux	17.110.979	19.412.112		17.110.979	19.412.112

(1) Les bassins dont les mines n'ont pas été exploitées dans l'année ont leurs noms en *italiques*.

II. — Industrie sidérurgique.

PRODUCTION DES FONTES.

DÉPARTEMENTS.	NATURE DE LA FONTE.	1879 FONTES d'affinage.	1879 FONTES de moulage ou moulée en 1re fusion.	1879 PRODUCTION totale.	1880 FONTES d'affinage.	1880 FONTES de moulage ou moulée en 1re fusion.	1880 PRODUCTION totale.
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allier	Au coke	66.722	10.264	76.986	69.274	6.896	76.170
Ardèche	Au coke	43 980	9.937	53.917	79.942	20.717	100.659
Ardennes	Au coke	15.078	»	15.164	15.037	»	16.013
	Au bois	44	42		384	592	
Ariège	Au coke	13.455	»	13.455	20.994	»	20.994
Aveyron	Au coke	26.602	2.051	28.653	23.467	2.921	26.388
Bouches-du-Rhône	Au coke	25.698	»	25.698	20.327	254	20.581
Charente	Au bois	20	»	20	65	»	65
	Au coke	»	10.855		»	8.785	
Cher	Au bois	1.915	»	17.625	4.721	10.922	27.047
	Mixte	»	4.855		»	2.619	
Corse	Au bois	5.393	»	5.393	5.287	»	5.287
Côtes-du-Nord	Au bois	»	131	131	»	»	»
Dordogne	Au bois	790	»	790	1.660	»	1.660
Doubs	Au bois	»	»	»	420	»	420
Eure	Au coke	»	»	»	1.970	»	1.970
Gard	Au coke	96.495	9.572	106.067	120.288	10.104	130.392
Gironde	Au bois	2.006	400	2.406	2.350	1.250	3.600
Hérault	Au coke	»	»	»	»	410	410
Ille-et-Vilaine	Au bois	»	»	»	»	1.163	1.163
Indre	Au bois	»	»	»	143	»	143
	Au coke	15.880	680		32.673	802	
Isère	Au bois	980	86	17.626	1.263	134	36.289
	Mixte	»	»		1.392	25	
Landes	Au bois	9.725	4.650	14.375	10.673	4.174	14.847

Loire	Au coke	56.485	18	56.503	60.801	252	61.053
Loire-Inférieure	Au coke	»	5.188	5.542	»	6.415	6.786
	Au bois	354	»		371	»	
Lot-et-Garonne	Au coke	150	14.450	14.850	210	14.400	14.610
	Au bois	250	»		»	»	
Marne	Au coke	»	2.435	2.435	»	1.773	1.773
Marne (Haute-)	Au coke	11.544	24.082	59.710	19.316	32.557	76.972
	Au bois	5.814	»		4.219	»	
	Mixte	7.040	11.230		9.354	11.526	
Mayenne	Au coke	»	4.305	4.305	»	2.957	2.957
Meurthe-et-Moselle	Au coke	319.402	126.830	448.380	403.942	131.528	538.312
	Au bois	1.976	172		2.727	115	
Meuse	Au coke	1.732	5.015	8.075	2.627	7.225	11.661
	Au bois	584	416		535	»	
	Mixte	»	328		»	1.274	
Morbihan	Au bois	1.200	»	1.200	»	»	»
Nord	Au coke	137.439	32.728	170.167	223.424	»	223.424
Pas-de-Calais	Au coke	29.318	20.500	49.818	39.581	12.000	51.581
Pyrénées-Orientales	Au bois	5.462	»	5.706	11.170	»	13.220
	Mixte	244	»		2.050	»	
Rhône	Au coke	50.029	»	50.029	69.783	2.557	72.340
Saône (Haute-)	Au bois	3.521	1.083	4.604	1.037	955	1.992
Saône-et-Loire	Au coke	139.011	805	139.816	170.357	429	170.786
Sarthe	Mixte	»	»	»	241	667	908
Savoie	Au coke	»	»	»	504	»	504
Savoie (Haute-)	Au coke	»	»	»	125	»	125
Tarn-et-Garonne	Au coke	786	54	840	»	»	»
Récapitulation	Au coke	1.049.806	279.769	1.329.575	1.374.642	262 982	1.637.624
	Au bois	40.034	6.980	47.014	47.025	19.305	66.330
	Mixte	7.284	16.413	23.697	13.037	16.111	29.148
Totaux		1.097.124	303.162	1.400.286	1.434 704	298 398	1.733.102
Augmentations					337.580	»	332.816
Diminution					»	4.764	»

PRODUCTION DES FERS.

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION DU FER SUIVANT SON MODE D'ÉLABORATION.	1879 RAILS	1879 FERS marchands et spéciaux.	1879 TÔLES.	1879 PRODUCTION totale.	1880 RAILS	1880 FERS marchands et spéciaux.	1880 TÔLES.	1880 PRODUCTION totale.
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Aisne	Puddlé	»	»	1.087	1.087	»	»	1.225	1.225
Allier	Idem	3.484	16.577	4.004	28.293	2.298	21.028	10.414	36.369
	Affiné au charbon de bois	»	1.995	1.580		»	1.829	800	
	Obtenu pr réchauffage de vieux rails.	»	653	»		»	»	»	
Ardennes	Puddlé	»	40.820	12.200	60.735	500	38.383	11.673	62.829
	Affiné au charbon de bois	»	95	7.620		»	128	»	
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	3.635	8.510	
Ariège	Puddlé	»	8.385	»	8.785	»	17.770	»	17.770
	Affiné au charbon de bois	»	400	»		»	»	»	
Aube	Puddlé	»	4.055	»	6.624	»	4.551	»	6.941
	Affiné au charbon de bois	»	2.569	»		»	»	»	
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	2.390	»	
Aveyron	Puddlé	12.310	10.117	2.586	25.013	8.858	11.345	3.259	23.462
Bouches-du-Rhône	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	1.324	»	1.324	»	1.316	»	1.316
Charente	Puddlé	»	»	»	75	»	480	»	480
	Affiné au charbon de bois	»	75	»		»	»	»	
Cher	Puddlé	»	2.000	»	2.780	»	1.650	»	2.300
	Affiné au charbon de bois	»	780	»		»	650	»	
Corse	Idem	»	35	»	35	»	»	»	»
Côte-d'Or	Puddlé	»	11.312	»	13.834	»	11.407	811	15.002
	Affiné au charbon de bois	»	2.182	»		»	2.386	21	
	Obtenu par réchauff. de vieux rails.	»	»	340		»	377	»	
Côtes-du-Nord	Puddlé	»	2.529	»	2.529	»	1.699	»	3.411
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	1.712	»	

Dordogne	Affiné au charbon de bois	»	1.040	»	1.040	»	227	»	1.332
	Obt. p^r réch. de vieux fers et riblons	»	»	»		»	1.105	»	
Doubs	Puddlé	»	100	1.846	15.879	»	890	735	4.830
	Affiné au charbon de bois	»	13.500	433		»	1.210	1.995	
Finistère	Obtenu par réchauff. de vieux fers	»	848	»	848	»	787	»	787
Gard	Puddlé	1.393	20.208	»	21.601	921	23.940	»	24.861
Garonne (Haute-)	Affiné au charbon de bois	»	2.874	»	2.874	»	1.275	»	4.965
	Obt. p^r réch. de vieux fers et riblons	»	»	»		»	3.690	»	
Gironde	Affiné au charbon de bois	»	1.060	»	1.207	»	550	»	1.500
	Obtenu par réchauff. de vieux fers	»	147	»		»	950	»	
Ille-et-Vilaine	Idem	»	340	»	340	»	51	»	51
Indre	Affiné au charbon de bois	»	220	»	220	»	348	»	348
Isère	Puddlé	879	8.472	654	10.550	109	8.450	816	11.157
	Affiné au charbon de bois	»	81	6		»	80	»	
	Obtenu par réchauff. de vieux fers	»	458	»		»	1.659	43	
Jura	Puddlé	261	10.554	6.589	22.604	532	11.056	6.633	20.765
	Affiné au charbon de bois	»	4.860	340		»	»	780	
	Obt. p^r réch. de vieux fers et riblons	»	»	»		»	»	1.764	
Landes	Affiné au charbon de bois	»	2.872	»	2.872	»	2.409	»	2.409
Loir-et-Cher	Obtenu par réchauff. de vieux fers	»	93	»	93	»	104	»	104
Loire	Puddlé	657	46.661	13.254	60.572	93	48.932	19.812	74.737
	Obt. p^r réch. de vieux fers et riblons	»	»	»		»	5.900	»	
Loire-Inférieure	Puddlé	»	3.900	»	6.400	»	4.835	»	7.738
	Obt. p^r réch. de vieux fers et riblons	»	2.500	»		»	2.903	»	
Lot-et-Garonne	Affiné au charbon de bois	»	120	»	120	»	80	»	80
Marne (Haute-)	Puddlé	»	69.787	6.422	79.788	»	80.973	8.350	93.037
	Affiné au charbon de bois	»	708	»		»	730	»	
	Obt. p^r réch. de vieux rails et riblons	»	3.051	»		»	2.894	90	
Meurthe-et-Moselle	Puddlé	»	33.974	7.419	42.017	»	33.380	8.305	42.720
	Affiné au charbon de bois	»	624	»		»	1.035	»	
	A reporter	18.984	334.955	66.200	420.139	13.311	363.179	86.036	462.526

PRODUCTION DES FERS. (*Suite*).

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION DU FER SUIVANT SON MODE D'ÉLABORATION.	1879 RAILS	1879 FERS marchands et spéciaux.	1879 TÔLES.	1879 PRODUCTION totale.	1880 RAILS	1880 FERS marchands et spéciaux.	1880 TÔLES.	1880 PRODUCTION totale.
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
	Report	18.984	334.955	66.200	420.139	13.311	363.179	86.036	462.526
Meuse	Puddlé	20	17.070	600	17.690	»	19.706	574	20.640
	Obt. p^r réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	360	»	
Morbihan	Puddlé	»	»	2.500	6.880	»	»	5.483	6.346
	Affiné au charbon de bois	»	»	»		»	»	500	
	Obtenu par réchauff. de vieux fers.	»	»	4.380		»	»	363	
Nièvre	Puddlé	213	12.783	»	16.246	711	15.658	»	18.251
	Affiné au charbon de bois	»	2.620	630		»	1.331	551	
Nord	Puddlé	17.482	210.908	25.766	254.276	24.848	237 498	23.058	285.404
	Affiné au charbon de bois	»	30	»		»	»	»	
Oise	Puddlé	»	17.582	8.583	32.490	»	23.066	8.836	39.714
	Affiné au charbon de bois	»	671	4.704		»	481	5.239	
	Obtenu par réchauft. de vieux fers.	»	950	»		»	1.492	»	
Orne	Idem	»	161	»	161	»	155	»	155
Pas-de-Calais	Obt. p^r réch. de vieux fers et riblons.	»	449	»	449	»	110	»	110
Pyrénées (Basses-).	Affiné au charbon de bois	»	167	»	215	»	144	»	144
	Obt. p^r réch. de vieux fers et riblons.	»	48	»		»	»	»	
Pyrénées-Orientales	Affiné au charbon de bois	»	495	»	495	»	567	»	567
Rhin (Haut-) (Territoire de Belfort)	Idem	»	1.831	»	1.831	»	1.986	»	1.986
Rhône	Puddlé	»	»	»	»	»	»	»	»
Saône (Haute-)	Affiné au charbon de bois	»	410	902	1.312	»	600	921	1.639
	Obt. p^r réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	»	118	
Saône-et-Loire	Puddlé	3.281	33.370	16.809	57.341	3.074	36.836	17.195	61.465
	Affiné au charbon de bois	»	170	3.711		»	110	4.250	

Sarthe	Idem	»	115	»	115	»	112	»	112
Savoie	Idem	»	95	»	222	»	55	»	177
	Obt. p^r^ réch. de vieux fers et riblons.	»	127	»		»	122	»	
Savoie (Haute-)	Puddlé	»	450	394	1.130	»	361	385	951
	Affiné au charbon de bois	»	243	43		»	130	75	
Seine	Puddlé	»	9.520	»	21.070	»	11.216	»	27.243
	Obtenu par réchauffage de riblons.	»	11.550	»		»	16.027	»	
Seine-Inférieure	Obtenu par réchauff. de vieux fers.	»	»	»	»	»	166	»	166
Seine-et-Oise	Idem	»	3.061	»	3.061	»	3.122	»	3.122
Somme	Puddlé	»	1.740	»	1.740	»	1.647	»	1.892
	Obt. p^r^ réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	245	»	
Tarn	Puddlé	»	595	»	595	»	747	»	1.276
	Obt. p^r^ réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	529	»	
Tarn-et-Garonne	Puddlé	»	3.381	»	3.381	»	»	»	»
Vienne	Obtenu par réchauff. de vieux fers.	»	103	»	103	»	90	»	90
Vienne (Haute-)	Affiné au charbon de bois	»	1.332	»	1.332	»	1.275	»	1.275
Vosges	Idem	»	1.222	1.650	2.872	»	2.076	2.336	4.412
Yonne	Puddlé	»	11.900	»	11.925	»	12.600	»	12.645
	Affiné au charbon de bois	»	25	»		»	45	»	
RÉCAPITULATION	Puddlé	39.980	608.840	110.533	759.353	41.944	680.704	127.564	850.212
	Affiné au charbon de bois	»	45.516	21.619	67.135	»	21.737	17.468	39.205
	Obt. p^r^ réch. de vieux fers et riblons.	»	25.863	4.720	30.583	»	52.003	10.888	62.891
	Totaux	39.980	680.219	136.872	857.071	41.944	754.444	155.920	952.308
	Augmentations					1.964	74.225	19.048	95.237

OBSERVATION. — Les fers bruts ou massiaux transformés en produits marchands dans des départements autres que ceux où ils ont été fabriqués, ne figurent pas sur le tableau, pour ne pas faire double emploi.

PRODUCTION DES ACIERS.

DÉPARTEMENTS.	NATURE DE L'ACIER.	1879 RAILS.	1879 ACIERS marchands.	1879 TÔLES.	1879 PRODUCTION totale.	1880 RAILS.	1880 ACIERS marchands.	1880 TÔLES.	1880 PRODUCTION totale.
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allier	Puddlé	»	102	28	21.020	»	251	»	22.143
	Fondu (Bessemer et Martin)	18.700	2.190	»		18.500	3.198	194	
Ardennes	Idem	»	»	»	90	»	24	»	320
	Cémenté	»	5	»		»	2	»	
	Fondu au creuset	»	70	»		»	27	»	
	Obtenu par réchauffage de vieil acier	»	15	»		»	8	259	
Ariège	Puddlé	»	2.030	»	2.178	»	3.939	»	3.957
	Cémenté	»	148	»		»	18	»	
Aube	Puddlé	»	»	»	»	»	320	»	320
Aveyron	Fondu (Martin)	21.293	»	»	21.293	20.186	»	»	20.186
Charente	Idem	»	901	»	901	»	1.150	»	1.150
Côte-d'Or	Cémenté	»	»	»	400	»	150	»	250
	Fondu au creuset	»	400	»		»	100	»	
Côtes-du-Nord	Puddlé	»	24	»	44	»	22	»	46
	Cémenté	»	6	»		»	7	»	
	Fondu au creuset	»	14	»		»	17	»	
Finistère	Idem	»	6	»	6	»	3	»	3
Gard	Fondu (Bessemer et Martin)	60.322	527	»	60.849	69.855	733	»	70.588
Garonne (Haute-)	Cémenté	»	96	»	96	»	115	»	115
Isère	Puddlé	»	3.140	»	7.753	»	2.257	»	8.317
	Cémenté	»	280	»		»	492	»	
	Fondu (Martin)	»	1.950	»		»	3.502	»	
	Fondu au creuset	»	520	»		»	947	»	
	Obt. p^{r} réch. de lingots d'acier Bessemer	»	1.863	»		»	1.119	»	

Loire	Puddlé et de forge	»	6.924	»		»	9.582	»	
	Cémenté	»	3.127	»		»	3.293	»	
	Fondu (Bessemer et Martin)	47.857	12.088	7.655	96.705	50.845	19.714	7.655	114.629
	Fondu au creuset	»	5.554	»		»	5.640	»	
	Obt. p^r^ réch. de lingots d'acier Bessemer	13.500	»	»		17.900	»	»	
Meurthe-et-Moselle	Puddlé	»	997	383	1.380	»	980	517	1.497
Meuse	Obtenu par réchauffage de vieil acier	»	»	70	70	»	45	72	117
Morbihan	Fondu (Bessemer et Martin)	»	»	»	»	»	»	90	90
Nièvre	Puddlé	»	185	»		»	295	»	
	Fondu (Bessemer et Martin)	»	»	»	11.895	»	476	»	4.746
	Fondu au creuset	»	565	7		»	456	7	
	Obt. p^r^ réc. de ling. d'ac. Bessem. et Mart.	8.605	2.280	253		193	2.845	474	
Nord	Cémenté	»	60	»		»	»	»	
	Fondu (Bessemer et Martin)	30.951	99	408	31.858	38.857	2.648	1.360	42.865
	Fondu au creuset	»	340	»		»	»	»	
Oise	Fondu (Martin)	»	15	86	101	»	64	862	926
Rhône	Fondu (Bessemer)	»	»	»	»	»	»	»	»
Saône-et-Loire	Fondu (Bessemer et Martin)	52.514	16.730	6.044	75.288	63.511	20.703	7.068	91.282
Tarn	Puddlé	»	734	»		»	567	»	
	Cémenté	»	220	»	1.330	»	148	»	1.079
	Fondu au creuset	»	376	»		»	364	»	
Vosges	Puddlé	»	8	»	8	»	»	»	»
Récapitulation	Fondu (Bessemer et Martin)	253.742	38.643	14.446	306.831	279.847	56.176	17.703	353.726
	Puddlé et de forge	»	14.144	411	14.555	»	18.213	517	18.730
	Cémenté	»	3.942	»	3.942	»	4.225	»	4.225
	Fondu au creuset	»	7.845	7	7.852	»	7.554	7	7.561
	Obtenu par réchauffage de vieil acier	»	15	70	85	»	53	331	384
	Totaux	253.742	64.589	14.934	333.265	279.847	86.221	18.558	384.626
	Augmentations					26.105	21.632	3.624	51.361

OBSERVATION. — Les lingots ou massiaux transformés en produits marchands dans des départements autres que ceux où ils ont été fabriqués, tels que le Rhône et l'Allier, ne figurent pas sur le tableau, pour ne pas faire double emploi.

SUR LES PROCÉDÉS PROPRES

A DÉCELER

LA PRÉSENCE DU GRISOU

DANS L'ATMOSPHÈRE DES MINES

Par MM. MALLARD et LE CHATELIER, ingénieurs des mines.

La Commission du grisou nous a fait l'honneur de nous charger d'un certain nombre d'études expérimentales, au nombre desquelles se trouve celle des moyens propres à annoncer au mineur la présence du gaz explosif. Nous nous proposons, dans ce travail, d'exposer sommairement les faits acquis actuellement sur ce point à l'art des mines, en y ajoutant les résultats de nos propres observations.

Pour reconnaître la présence du grisou dans l'air on peut utiliser :

1° Les procédés chimiques ;

2° Les propriétés physiques du grisou ;

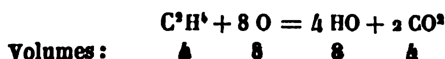
3° Le mode d'inflammation des mélanges d'air et de grisou.

Nous passerons successivement en revue ces trois modes d'exploration.

I. — Procédés chimiques.

Les agents chimiques permettant de reconnaître le grisou sont peu nombreux. L'oxygène libre ou combiné est à peu près le seul réactif qui puisse l'attaquer, et encore l'intervention d'une température suffisamment élevée est-elle

nécessaire. La combustion du grisou par l'oxygène produit de l'eau et de l'acide carbonique suivant la formule :



$$C^2H^4 + 8\,O = 4\,HO + 2\,CO^2$$

Volumes : 4 8 8 4

Cette combustion est suivie d'une diminution de volume du mélange gazeux occasionnée par la condensation de la vapeur d'eau. Cette contraction est égale au double du volume de grisou brûlé; elle devient égale au triple quand on absorbe l'acide carbonique par la potasse.

M. **Coquillion** a proposé un appareil fondé sur ce principe pour reconnaître la présence du grisou dans l'atmosphère des mines et mesurer sa proportion. La combustion est déterminée par l'influence d'un fil de palladium porté au rouge blanc au moyen d'un courant électrique. L'appareil consiste en un tube en verre gradué, fermé par un bouchon de caoutchouc; on y introduit l'air de la mine, on fait rougir quelques instants le fil, on laisse refroidir, puis on mesure la diminution de volume. En divisant le nombre trouvé par deux on a la proportion du grisou contenu dans l'air.

Ce procédé n'a jamais donné des résultats très satisfaisants, même entre les mains de l'inventeur. Il accuse toujours des proportions trop faibles de gaz. Il serait vraisemblablement susceptible de perfectionnement, car M. Coquillion a construit sur le même principe un appareil de laboratoire qui donne de bons résultats quand il est convenablement employé. Mais l'appareil portatif présente des inconvénients d'un autre ordre qui suffiraient à eux seuls pour s'opposer à son emploi. Chaque opération est assez longue, demande une dizaine de minutes environ; il faut, outre l'appareil, emporter avec soi une pile énergique, par suite pesante et volumineuse. En un mot, il faut faire dans la mine une analyse chimique avec toutes les complications qu'entraînent les opérations de cette nature. Il ne semble

donc pas qu'un appareil de ce genre puisse jamais entrer dans la pratique courante.

II. — Propriétés physiques.

1° *Appareil Ansell.*

On a proposé d'utiliser, pour déceler la présence du grisou, le phénomène de la diffusion à travers un corps poreux. On sait en effet que, lorsqu'un corps poreux, comme une plaque de biscuit de porcelaine, sépare deux espaces, l'un occupé par de l'air et l'autre par un mélange d'air et de grisou, la pression étant d'abord la même de part et d'autre, croît dans le premier espace et atteint un maximum, pour revenir ensuite à sa valeur première. L'augmentation de pression, au moment du maximum, est à peu près proportionnelle à la teneur en grisou du mélange gazeux contenu dans le second espace.

M. **Ansell**, vers 1868, a construit un appareil fondé sur ce principe et qui consiste en un baromètre métallique fermé en dessous par une plaque de biscuit. La plaque, recouverte par un couvercle métallique, est découverte au moment de l'observation, et l'on note l'augmentation de pression causée par l'appareil. Malheureusement, ce curieux instrument est peu sensible, car il n'accuse qu'une augmentation de pression d'un peu plus de $0^{mm},2$ de mercure pour une proportion de grisou égale à 1 p. 100. Les indications sont d'ailleurs exposées à être faussées par la présence de l'acide carbonique, qui exerce une influence de sens contraire à celle du grisou, et par celle de la vapeur d'eau qui agit dans le même sens que le grisou. De plus on ne peut, avec cet appareil, faire plus d'une observation, et l'on est obligé de le reporter chaque fois dans une atmosphère pure. C'est donc avec juste raison que l'appareil de M. Ansell n'est pas entré dans la pratique des mines.

M. Ansell avait proposé de transformer son appareil en un avertisseur permanent.

Un petit manomètre à mercure était fermé d'un côté par une plaque poreuse; la branche ouverte recevait une pointe métallique dont l'extrémité inférieure était maintenue à une distance convenable de la surface liquide. Dès que la proportion de grisou devenait suffisamment grande, le mercure se soulevait assez dans la branche ouverte du manomètre pour venir rencontrer la pointe métallique et fermer un circuit électrique qui mettait un timbre en mouvement.

L'appareil ainsi disposé est fondé sur une idée inexacte du phénomène de la diffusion. Il fonctionnerait régulièrement si, plongé dans l'air pur, il venait brusquement à être enveloppé par de l'air contaminé. Il ne fonctionnerait pas du tout, au contraire, si, comme il arrive le plus souvent, le grisou se mélangeait lentement à l'air qui environne l'appareil. Supposons, par exemple, que les choses soient disposées pour que la sonnerie soit mise en mouvement lorsque la proportion de grisou sera portée à 5 p. 100. Si l'air vient à se charger d'abord de 3 p. 100 de gaz, il se produira temporairement une augmentation de pression impuissante à fermer le circuit; puis l'équilibre de composition s'établira entre l'extérieur et l'espace clos par la plaque poreuse, et la colonne mercurielle retombera à sa position initiale. Qu'une nouvelle quantité de grisou égale à 2 p. 100 vienne alors s'ajouter à la première en donnant une proportion totale de 5 p. 100, il se produira une augmentation de pression en rapport avec la différence de composition du gaz extérieur, différence qui n'est que de 2 p. 100, et cette augmentation de pression sera encore impuissante à fermer le circuit. On se trouvera donc dans une atmosphère chargée de 5 p. 100 de gaz sans que l'avertisseur ait fonctionné.

2° *Appareil de M. Forbes* (*).

M. Forbes a pensé à utiliser la diminution de densité que le grisou fait subir à l'air auquel il est mélangé. Il mesure la densité de l'air en mesurant la vitesse avec laquelle il transmet le son, et cette vitesse elle-même est appréciée au moyen d'un appareil très portatif et très ingénieux en soi. Il se compose d'un tube fermé à un bout par un piston mobile; au-dessus de l'autre bout qui reste ouvert sont disposées les extrémités des lames d'un diapason que l'on met en vibration. Les vibrations sont renforcées et deviennent perceptibles à l'oreille lorsque la longueur de la colonne d'air du tube correspond au son que rend le diapason, et cette longueur change lorsque la densité de l'air est modifiée. On enfonce donc le piston jusqu'à ce que les vibrations soient perçues avec la plus grande intensité possible; la quantité dont on est obligé d'enfoncer plus ou moins le piston est indiquée sur un cadran divisé et peut servir à montrer les variations de densité de l'air.

Ces variations de densité ne sont exactement en rapport avec la quantité de grisou mélangée que si la température et la pression de l'air restent les mêmes. Un thermomètre est fixé à l'appareil pour faire la correction relative à la température, mais l'auteur ne parle pas de celle qui se rapporterait à la pression.

Une autre cause d'erreur est la présence de l'acide carbonique; M. Forbes pense que l'acide carbonique diminuant le pouvoir explosif du grisou, les indications de son appareil pourront suffire dans tous les cas, puisqu'elles indiquent tout au moins le pouvoir explosif du mélange gazeux.

Cette assertion est fort discutable, mais on a fait remar-

(*) North of England Institute of mining Engineers. Transactions, vol. XXIX, 1880, p. 171.

quer en outre avec raison qu'il y avait un grand intérêt à connaître la quantité absolue de grisou contenue dans l'air.

L'appareil de M. Forbes est un instrument de physique dont on aurait évidemment bien peu à attendre entre les mains d'un personnel peu habitué aux expériences de précision. L'instrument est au surplus très critiquable au point de vue purement scientifique, car les corrections qu'on serait obligé de faire à l'observation, pour tenir compte des variations de température et de pression, seraient la plupart du temps très supérieures à la quantité à mesurer, ce qui enlèverait toute exactitude aux mesures.

3° *Appareil de M. Liveing.*

Peut-être peut-on ranger parmi les phénomènes physiques indicateurs du grisou celui qui a été signalé récemment par M. Liveing, quoiqu'il mette en jeu la combustibilité du gaz.

M. Liveing propose de disposer, l'un à côté de l'autre, deux fils fins de platine, l'un enfermé dans une capacité close et remplie d'air pur, l'autre plongé dans l'atmosphère même de la mine. On fait passer dans les deux fils un même courant électrique; le fil non protégé rougit beaucoup plus que l'autre si l'air de la mine contient du grisou, parce qu'il détermine une inflammation du gaz. Cette inflammation reste confinée au contact si la proportion de grisou est faible; elle pourrait se propager dans toute la masse si la proportion de gaz était suffisante; il faut donc placer le tout dans une lampe de sûreté.

M. Liveing annonce pouvoir constater la présence de 1/2 p. 100 de gaz. Grâce au bienveillant intermédiaire de M. Warington Smyth, nous avons prié M. Liveing de nous donner les indications nécessaires pour que nous puissions nous procurer son appareil. Il nous a répondu que la disposition n'en était point encore complètement arrêtée.

Il faut donc attendre le résultat des essais de M. Liveing. Nous pensons cependant qu'il rencontrera de grandes difficultés pour donner à son idée très ingénieuse une forme sérieusement pratique. La nécessité de transporter une pile énergique, la difficulté de rendre appréciable pour le personnel ordinaire de surveillance, une faible différence d'éclat entre deux fils métalliques, nous semblent de très sérieux obstacles. Nous ne pouvons que souhaiter vivemen que M. Liveing parvienne à les surmonter.

4° *Appareil de M. Angus Smith.*

M. **Angus Smith** a récemment proposé l'emploi d'un petit appareil consistant en une sorte de briquet à air contenant de la mousse de platine. D'après lui, la chaleur produite par la compression suffit à rendre la mousse incandescente dans un air tenant du grisou. L'auteur annonce qu'on peut constater ainsi 3 p. 100 de grisou dans l'air. Nous verrons plus loin que les indications données par la flamme de la lampe suffisent, à bien moins de frais, à constater la même proportion.

L'appareil de M. Angus Smith aurait d'ailleurs le grave inconvénient de ne pas rester comparable à lui-même, à cause de l'altération que subit toujours la mousse de platine au bout d'un certain temps.

III. — Indications données par l'examen de la flamme de la lampe.

C'est en examinant attentivement la flamme de sa lampe que le mineur arrive ordinairement à reconnaître la présence du grisou dans l'atmosphère qui l'enveloppe. Ce procédé, sans doute fort ancien, nous paraît, à tout prendre, le meilleur, et nous nous sommes attachés à en faire l'étude.

Il n'est peut-être pas inutile de décrire l'appareil qui a

servi à nos observations, quelque simple qu'il soit. Nous croyons, en effet, qu'il serait extrêmement utile que nos expériences pussent être répétées par les ingénieurs chargés de diriger des mines grisouteuses en présence des ouvriers et surtout des maîtres-mineurs. Il s'en faut, en effet, que tous les ouvriers, dans toutes les mines, soient également expérimentés dans l'art de reconnaître le grisou à l'aide de

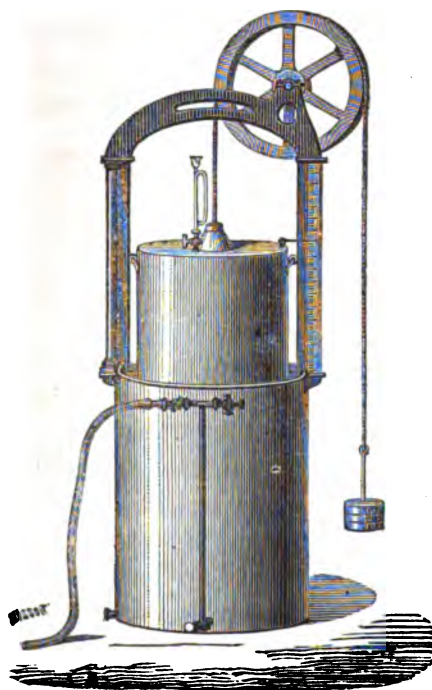


FIG. 1.

la lampe, et ceux qui sont le plus habiles sous ce rapport auraient encore beaucoup à apprendre en voyant se produire sous leurs yeux les modifications apportées dans la flamme par des proportions bien connues de grisou.

Nous employons un petit gazomètre (*fig.* 1) dont la cloche, renversée sur l'eau, est équilibrée par un contre-

poids formé de rondelles mobiles en plomb. Elle contient 70 litres de gaz environ. La partie supérieure de la cloche porte un index qui se meut le long d'une échelle verticale divisée en litres, de telle sorte qu'on lit directement sur cette échelle le volume de gaz introduit. En se guidant d'après les indications de cette échelle, on prépare, sous la cloche, le mélange avec lequel on désire opérer. Il suffit, après avoir introduit le gaz combustible, de faire entrer

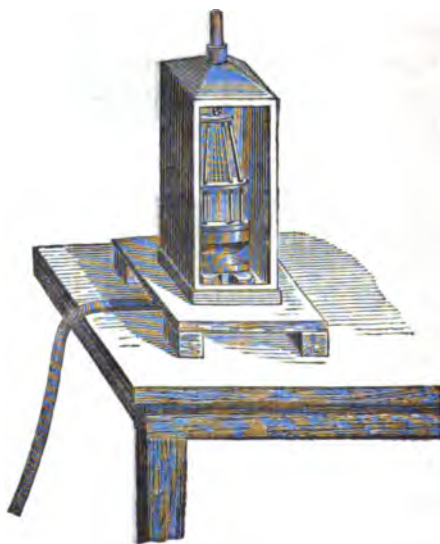


FIG. 2.

l'air le plus rapidement possible pour opérer, dans l'intérieur de la cloche, un brassage suffisant des deux gaz.

Nous nous sommes servis de gaz hydrogène protocarboné préparé par la distillation de l'acétate de soude. Pour les mélanges peu combustibles les phénomènes sont presque les mêmes, à proportions égales de gaz, en substituant le gaz d'éclairage à l'hydrogène protocarboné. Avec des mélanges plus combustibles, il faut une proportion de gaz d'éclairage plus grande pour produire les mêmes phénomènes.

Le mélange gazeux formé dans la cloche est conduit, par un tube en caoutchouc, à la partie inférieure d'une sorte de petite cage vitrée, assez largement ouverte à la partie supérieure (*fig.* 2). Dans cette cage, et soutenue par des tasseaux de manière à laisser libre l'arrivée du gaz, on place la lampe soumise à l'essai. La partie supérieure de la cage peut d'ailleurs s'enlever aisément, et l'on en coiffe comme d'une cloche la lampe au moment de l'observation. Il est très utile de ménager au-dessous de la lampe un petit orifice par lequel on fait passer, à frottement, la petite tige qui manœuvre la mèche de manière à la faire saillir au dehors. Il convient, en effet, que l'on puisse manœuvrer la mèche lorsqu'elle est plongée dans le mélange gazeux.

Les choses ainsi disposées, on règle le contrepoids de la cloche du gazomètre de manière à faire passer dans la cage une quantité de gaz égale à environ 150 centim. cubes par seconde. En se tenant au-dessous de ce nombre on s'exposerait à ne pas chasser efficacement, au fur et à mesure de leur production, les gaz provenant de la combustion.

Les observations doivent être faites dans l'obscurité, et il est bon de noircir les parois intérieures de la cage qui contient la lampe.

Les modifications apportées par la présence du grisou, dans l'allure normale de la flamme de la lampe, sont de deux natures :

1° La flamme s'allonge et devient fuligineuse;

2° La flamme s'entoure d'une flamme bleuâtre que l'on désigne souvent sous le nom d'auréole et qui est due à la combustion du grisou.

Nous étudierons successivement ces deux phénomènes :

1° *Allongement de la flamme.*

Cet allongement est dû à ce que la zone qui enveloppe la flamme, au lieu d'être formée par de l'air pur, l'est par

un mélange d'air et de grisou en combustion. La proportion d'oxygène libre dans cette zone s'abaisse ainsi beaucoup, et il faut que le volume de la flamme s'accroisse, afin que celle-ci reçoive, par sa surface, la quantité d'oxygène nécessaire pour brûler les produits combustibles que fournit la mèche. Le grisou d'ailleurs n'agit pas seulement par le volume qu'il occupe, et qui diminue d'autant celui de l'air propre à entretenir la combustion; il agit encore en s'emparant, pour brûler, d'un volume d'oxygène double et, par conséquent, d'un volume d'air sextuple du sien. Nous avons constaté, en effet, que quelques millièmes de grisou dans l'air suffisent à allonger la flamme, tandis qu'une proportion d'acide carbonique égale à 3 ou 4 p. 100 ne produit presque aucun effet appréciable.

Voici maintenant les observations faites :

PROPORTION de grisou pour 1 de mélange.	LAMPE DAVY.	LAMPE MUESELER.
0,04	Allongement de 20 millim.	La flamme s'engage dans le cône de 10 à 15 millim. environ.
0,03	Allongement de 10 millim.	La flamme s'engage fortement dans le cône.
0,015	Allongement de 3 à 4 millim. . . .	Même allongement que pour la lampe Davy.
0,0075	Allongement de 1 à 2 millim. . . .	Idem.
0,0033	Allongement difficile à apprécier et à affirmer à cause de manque de point de repère fixe.	Allongement très faible, mais appréciable, grâce au point de repère fixe fourni par la base du cône.

Avec la lampe Davy, la flamme était réglée dans l'air pur à 27^{mm} de longueur environ ; avec la lampe Muesoler, on faisait affleurer la pointe supérieure de la flamme au plan de l'orifice inférieur du cône qui sert de cheminée.

Comme on le voit, les indications fournies par l'allongement de la flamme sont extrêmement sensibles et pourraient faire constater la présence de moins de trois millièmes de grisou (*). Malheureusement il n'est pas toujours possible de les utiliser.

En premier lieu, l'allongement de la flamme est difficile à observer, au moins lorsqu'il est faible, dans l'air toujours agité d'une galerie de mine, et dans les conditions de la pratique, toujours assez différentes de celles d'une expérience de laboratoire. Mais l'inconvénient le plus grave de ce procédé de constatation du grisou, c'est qu'il n'est qu'un procédé différentiel. Si l'on passe graduellement d'un air pur à un air tenant 3 à 4 p. 100 de grisou, après avoir fait un chemin plus ou moins long dans l'intérieur des travaux, on constatera bien un allongement de la flamme, mais il sera difficile d'affirmer que cet allongement tient bien à la présence du grisou et ne doit pas être attribué à d'autres causes, telles que la température plus élevée, la désoxygénation de l'air, etc., ou même simplement un mauvais réglage de la mèche. Le procédé n'est donc réellement applicable que pour constater, en un point particulier des travaux, les différences de composition que peuvent présenter les deux parties de la section de la galerie ou du chantier. Il est particulièrement commode pour explorer l'air contenu dans les cloches du toit, et l'on peut conclure jusqu'à un certain point de la présence plus ou moins abondante du gaz dans les cloches, à la proportion plus ou moins grande du grisou dans l'air des galeries.

(*) Cette sensibilité, à laquelle nous ne nous attendions pas, nous avait d'ailleurs été signalée par le savant ingénieur de Bessèges, M. *Murgue*.

2° *Auréole bleue.*

Lorsque l'air contient une proportion de grisou comprise entre 6 et 17 p. 100 il est inflammable, c'est-à-dire que, même dans une atmosphère tranquille, l'inflammation provoquée en un point s'étend progressivement, avec plus ou moins de rapidité, à toute la masse.

Si la proportion est égale ou inférieure à 6 p. 100, une flamme ou un corps suffisamment chaud introduit dans le mélange n'y détermine l'inflammation que dans une zone plus ou moins large autour du corps chaud. Le mélange gazeux brûle encore, mais sa combustion ne peut se faire qu'avec le concours d'une chaleur externe.

La quantité de gaz brûlé ou, ce qui revient au même, la zone dans laquelle s'opère la combustion, est donc d'autant plus grande que le corps chaud dégage plus de chaleur dans l'unité de temps.

Supposons, par exemple, que dans un air contenant 5 p. 100 de grisou on introduise une lampe de mineur, la flamme blanche de la lampe se montrera surmontée d'une flamme bleuâtre. Cette flamme bleuâtre, que nous appellerons l'*auréole* pour la distinguer plus aisément, dans le langage, de la flamme de la mèche, aura seulement 2 à 3 centimètres de longueur au plus si l'on réduit la flamme de la mèche au minimum; elle pourra avoir plus de un décimètre si la flamme a la dimension ordinaire. En faisant baisser ou monter la mèche, on fait à volonté baisser ou monter l'auréole comme la flamme elle-même.

Voici les observations que nous avons faites sur ce phénomène, en plaçant dans la cage vitrée de notre appareil les lampes Mueseler et Davy.

Lampe Davy.

PROPORTION de grisou. — *Phénomènes observés.*

0,01 Aucun phénomène observable.

0,02 On ne voit aucune auréole lorsque la flamme a la dimension ordinaire, ou même lorsqu'elle a une dimension appréciable. Mais lorsqu'on a abaissé avec précaution la mèche, de manière que la flamme ne présente plus aucun point brillant, on distingue une petite auréole conique de 3 à 4 millim. de hauteur, d'un bleu très pâle, sauf à la base où la teinte se fonce davantage.

Il est nécessaire, pour cette observation et pour toutes les observations analogues où l'on doit pouvoir manœuvrer la mèche avec précision, d'opérer avec des mèches plates. Il est bon de tailler ces mèches légèrement en biseau de chaque côté, de manière que, lorsque la mèche est baissée, le point situé sur l'axe de la mèche disparaisse le dernier. De cette façon la flamme reste toujours dans l'axe, et l'on parvient plus aisément à la restreindre considérablement sans l'éteindre.

0,03 La flamme étant baissée au maximum et de manière à ne présenter aucun point brillant, on voit une auréole conique de 6 millim. environ de hauteur. Cette auréole peut prendre une hauteur double lorsqu'on donne à la flamme une intensité appréciable. Dès que la flamme devient quelque peu éclairante, l'auréole cesse d'être visible.

0,04 La flamme étant réduite à son minimum, l'auréole a environ $0^{m},02$. A mesure qu'on monte la mèche, l'auréole augmente de hauteur, tout en restant très visible. Elle peut même aller toucher la toile horizontale qui ferme la lampe à la partie supérieure, lorsque la flamme a une hauteur de 0,01 environ.

0,05 Lorsque la flamme est baissée au minimum l'auréole a $0^{m},02$ à $0^{m},03$. L'auréole s'allonge rapidement lorsqu'on monte la mèche. La flamme ayant la hauteur normale, l'auréole a la hauteur même du cylindre de toile; elle reste cylindrique sur la plus grande partie de sa hauteur et s'évase un peu en arrivant à la toile horizontale supérieure.

0,06 La flamme devient très faible et peu éclairante. L'auréole l'enveloppe en quelque sorte, s'évase rapidement et, à une hauteur de 0m,01 à 0m,02 au-dessus de cette flamme, remplit complètement le cylindre de toile (*).

0,07 Les phénomènes sont à peu près les mêmes qu'avec 0,06.

0,08 La flamme disparaît entièrement. La flamme bleue du grisou remplit complètement le cylindre de toile. La mèche se rallume d'elle-même lorsqu'on fait arriver l'air frais.

0,09 La flamme disparaît encore; le gaz brûle dans le cylindre de toile, mais sur 0,03 à 0,04 de hauteur seulement. A la rentrée de l'air frais la mèche se rallume.

0,11 La flamme disparaît entièrement, et presque tout le cylindre se remplit d'une flamme bleue qui éprouve des espèces de trépidations. Ces trépidations sont dues à la faible valeur de la vitesse de propagation de la flamme. Celle-ci a quelque peine à remonter le courant d'air affluent, et la flamme est soumise à toutes les variations accidentelles de la vitesse d'afflux de l'air. La rentrée de l'air, même graduelle et ménagée, ne rallume pas la mèche.

0,14 Mêmes phénomènes.

0,145 La flamme de la mèche s'éteint; la flamme du gaz parcourt le cylindre de toile en remontant et vient s'arrêter à la hauteur où la toile du cylindre est doublée par celle du chapeau. Ce phénomène est manifestement dû à ce que la vitesse avec laquelle le gaz afflue dans la lampe est assez grande, là où la toile est simple pour ne pouvoir être remontée par la flamme. Celle-ci ne peut donc subsister à l'état stationnaire qu'au point où le doublement de la toile diminue la vitesse d'afflux de l'air.

0,154 Extinction de la flamme de la mèche. La flamme du gaz remonte lentement le cylindre et disparaît lorsqu'elle est arrivée en haut. Dans ce cas la vitesse de propagation de l'inflammation est assez faible pour qu'elle ne puisse nulle part remonter le courant d'air affluent. Le gaz ne peut donc continuer à brûler en aucun point.

(*) Dans la pratique, et avec une alimentation d'air qui ne se- pas restreinte comme dans notre appareil, nous pensons qu'avec cette proportion de grisou le cylindre de toile se remplirait de flamme sur toute sa hauteur.

0,175 Mêmes phénomènes.

Une proportion de 3 à 4 p. 100 d'acide carbonique ne modifie pas sensiblement les phénomènes précédents.

En résumé, la lampe Davy se comporte, dans le grisou, de trois façons différentes :

1° Dans les mélanges tenant moins de 6 p. 100 de grisou, la flamme de la mèche est surmontée par une flamme bleuâtre dont la longueur dépend à la fois de la proportion de grisou et de la hauteur de la flamme de la mèche; cette flamme bleuâtre ou auréole, qui a la hauteur même du cylindre de toile de la lampe pour une teneur en grisou égale à 0,05, est encore visible, quoique avec difficulté, pour une teneur égale à 0,02. Pour l'observer alors, il faut baisser la mèche avec précaution de manière à faire complètement disparaître toute la partie éclairante de la flamme. Toutefois il est probable que, dans les conditions de la pratique et dans la mine, l'auréole ne commence à être perceptible, la flamme de la mèche convenablement baissée, qu'à partir d'une teneur de 3 p. 100.

2° Pour des teneurs comprises entre 0,06 et 0,14, le cylindre de la lampe se remplit d'une flamme bleuâtre persistante, la flamme de la mèche disparaissant complètement ou à peu près complètement. Pour des teneurs inférieures à 0,11, la lampe se rallume d'ailleurs d'elle-même lorsqu'elle est reportée dans l'air frais. Pour des teneurs supérieures à 0,11, on ne peut plus compter avec sûreté sur ce rallumage.

3° Pour des teneurs supérieures à 0,14, la flamme de la mèche s'éteint; le gaz allumé d'abord dans l'intérieur de la lampe disparaît aussi après avoir remonté le cylindre de toile.

Comme indicateur de grisou, la lampe fonctionne surtout lorsque les teneurs sont inférieures à 0,06; *elle ne commence à ne donner d'indications un peu nettes que de 0,02 à 0,03. Il faut, avec ces faibles teneurs, commencer,*

avant l'observation, par baisser lentement la mèche de manière à faire disparaître la partie éclairante de la flamme.

Lampe Mueseler (*).

PROPORTION de grisou.	*Phénomènes observés.*
0,02	La flamme de la mèche n'ayant plus de point éclairant, l'auréole du gaz a de 6 à 7 millim. de hauteur. Elle est certainement plus nette et plus visible qu'avec la lampe Davy; elle est aussi d'un bleu plus foncé quoiqu'encore un peu grisâtre.
0,03	La flamme n'ayant plus de point éclairant, l'auréole bleue, assez nette, a une hauteur de 7 à 8 millim. En levant graduellement la mèche, la flamme restant toujours très peu éclairante, on peut accroître l'auréole (*fig.* 3.) et faire que celle-ci vienne affleurer la base du cône métallique qui sert de cheminée à la lampe.
0,04	La flamme étant sans point éclairant, l'auréole vient affleurer la base du cône. Lorsqu'on lève la mèche, l'auréole augmente de hauteur et vient s'engager dans le cône.
0,05	La flamme ne présentant plus de point brillant, l'auréole bleue s'engage dans le cône. Cette auréole est encore très visible lorsque la flamme a sa hauteur normale, elle paraît alors cylindrique et s'engage en disparaissant dans l'intérieur du cône.
0,06	La flamme normale s'allonge beaucoup ; elle éprouve des oscillations périodiques et le verre se couvre de buée. Lorsqu'on baisse la mèche de manière à faire disparaître la partie éclairante de la flamme, l'auréole embrasse complètement à sa base ce qui persiste de la flamme, puis va, en s'évasant, s'appuyer sur le bord même du cône (*fig.* 4).
0,07	Avec un débit d'air dans la cloche égal à 100 cent. cubes par seconde, on observe à peu près les mêmes phénomènes que précédemment.
	Avec un débit égal à 200 cent. cubes par seconde, l'au-

(*) Les dimensions sont celles qui ont été fixées par l'ordonnance royale belge.

réole quitte en s'évasant davantage les bords du cône, monte jusqu'à l'anneau de toile horizontal, et la flamme sur laquelle se dirige les produits de la combustion de gaz s'éteint.

0,08 Extinction comme ci-dessus. Il arrive quelquefois que la flamme du gaz persiste plus ou moins longtemps au-dessous de l'anneau de toile en tournant assez rapidement dans l'espace annulaire limité latéralement par le cylindre de verre et le cône.

0.09 Mêmes phénomènes.

Les phénomènes ne sont pas modifiés d'une manière sensible par une teneur en acide carbonique égale à 3 ou 4 p. 100.

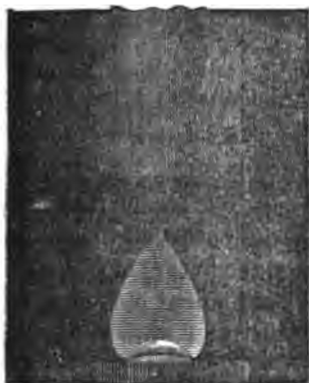


Fig. 3.

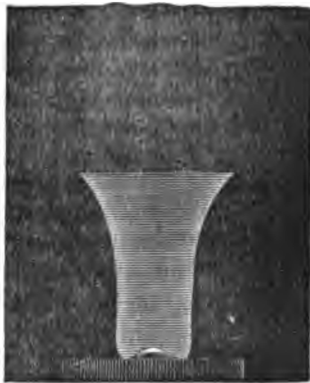


Fig. 4.

Il résulte de ces observations :

1° Que la lampe Mueseler commence à indiquer la présence du grisou, comme la lampe Davy, au moment où la teneur est égale à 0,02. L'auréole n'est alors visible, et avec quelque difficulté, qu'en supprimant la partie éclairante de la flamme.

Si l'on continue à supprimer la partie éclairante de la flamme, on voit :

A 0,03 une auréole de 7 à 8 millim. de hauteur;

A 0,04 une auréole dont l'extrémité vient affleurer la base du cône;

A 0,05 une auréole qui s'engage dans le cône;

A 0,06 une auréole qui va, en s'évasant, s'appuyer sur le bord inférieur du cône.

2° Que la lampe Mueseler s'éteint pour une teneur égale ou supérieure à 0,06, c'est-à-dire pour une teneur qui donne à la vitesse de propagation de la flamme une valeur notable. C'est la teneur à partir de laquelle l'atmosphère devient détonante.

Nous devons ajouter qu'il résulte clairement de nos observations que, toutes choses restant identiques, la lampe Mueseler est un indicateur plus net, pour les teneurs inférieures, que la lampe Davy, contrairement à une opinion souvent exprimée, mais sans preuves à l'appui.

Le seul inconvénient qu'il faut reconnaître à la lampe Mueseler, employée comme indicateur, c'est qu'elle s'éteint assez rapidement lorsqu'on la porte dans un mélange d'une teneur supérieure à 0,06. C'est un inconvénient assez sérieux pour le maître-mineur chargé spécialement de la visite des endroits dangereux et qui doit explorer des cloches, etc., où la proportion de grisou peut être élevée. C'est la raison qui motive la tolérance que l'on peut accorder au maître-mineur de se servir d'une lampe Davy.

On voit que la lampe Davy, et mieux encore la lampe Mueseler, peuvent être, entre les mains d'ouvriers expérimentés, les plus précieux des indicateurs du grisou. Mais il est nécessaire qu'on sache s'en servir, et qu'il soit bien entendu que ces indicateurs ne sont sensibles qu'à la condition que l'on manœuvre préalablement la mèche de manière à supprimer à peu près complètement, sans arriver à l'extinction, la partie éclairante de la flamme de la mèche. L'auréole n'est visible, pour des teneurs de 0,03 à 0,04, qu'en employant cette précaution.

Indicateurs spéciaux du grisou.

On a vu, par ce qui précède, que pour constater, par 'auréole bleue, la présence du grisou, il faut, lorsque la teneur de ce gaz est faible, diminuer considérablement l'éclat de la flamme. Cet éclat est en effet très grand par rapport à celui de l'auréole et masque celui-ci entièrement à la vue. Mais en diminuant l'éclat de la flamme on diminue la quantité de chaleur qu'elle développe et, par conséquent, aussi la hauteur de l'auréole, qui devient invisible pour les faibles teneurs.

On a proposé de remédier à cet inconvénient en regardant la flamme et l'auréole à travers un verre bleu qui devrait arrêter les rayons émis par la flamme en laissant passer ceux qu'émet l'auréole. Nous avons expérimenté ce procédé qui ne nous a donné aucun résultat. Il est d'ailleurs aisé de comprendre qu'il en doit être ainsi, car le verre bleu absorbe presque complètement la faible lumière bleue émise par l'auréole, tout en laissant passer une fraction relativement considérable des rayons intenses qu'émet la flamme.

Nous avons d'abord pensé à remplacer la flamme de la lampe par une flamme chaude, mais non éclairante, telle que celle de l'hydrogène. Les essais faits dans le laboratoire ont été très satisfaisants, et nous avons pu constater ainsi avec certitude la présence de 1/4 p. 100 de grisou dans l'air qui entretenait la combustion. Nous avons construit, d'après ce principe, un appareil semblable aux briquets à hydrogène. La flamme de l'hydrogène, allumée par de la mousse de platine, venait brûler dans le cylindre d'une lampe Mueseler. Ce cylindre, au lieu d'être en verre, était en métal et percé seulement d'une monture cylindrique. Cette monture était fermée par une loupe au moyen de laquelle on pouvait observer la flamme avec plus de précision.

Malheureusement il n'est point aisé de produire l'hydrogène dans un appareil portatif, car les oscillations du liquide troublent considérablement le dégagement gazeux. L'appareil présente d'ailleurs quelque complication ; il faut manœuvrer la mousse de platine et tourner un robinet difficile à préserver des vapeurs acides. Bref, il nous a paru qu'un indicateur ainsi construit offrirait bien des inconvénients dans la pratique courante.

Nous avons songé alors à nous servir de la flamme de l'alcool. Nous avons obtenu une sensibilité moindre qu'avec la flamme de l'hydrogène, mais suffisante encore pour permettre de constater la présence de 1/2 p. 100 de grisou en employant une mèche formée de brins de fils de laiton. Mais la combustion de l'alcool est difficile à régler avec la précision suffisante, et il faudrait un vase assez volumineux pour contenir le liquide qui devrait entretenir la combustion pendant plusieurs heures.

Nous songeâmes alors à revenir à la lampe ordinaire du mineur en cachant, par un écran placé en avant, la flamme de la mèche tout en laissant visible l'auréole qui la surmonte. Ce moyen, qu'avaient d'ailleurs indiqué à la commission MM. **Delon** frères, ne nous a point donné d'avantage sérieux, car si l'écran empêche l'œil de recevoir directement les rayons émis par la flamme de la mèche, il n'empêche pas que l'espace sur lequel se projette la lumière de l'auréole, ne soit éclairé par cette flamme, et assez vivement pour que la lueur de l'auréole reste encore invisible.

Nous avons alors remédié à cet inconvénient en plaçant un autre écran derrière la flamme, de manière que l'auréole vienne se projeter, pour l'œil de l'observateur, sur un fond complètement noir.

L'appareil très simple auquel nous nous sommes arrêtés, après quelques tâtonnements, consiste essentiellement en deux lames métalliques inclinées en sens opposés et placées

l'une en avant, l'autre en arrière de la flamme. Ces deux lames sont fixées à leur partie inférieure sur un cercle de laiton qu'on enfile dans le porte-mèche. Les arêtes supérieures des deux lames sont parallèles et laissent entre elles un écartement de 8^{mm}. Elles sont à une hauteur de 8^{mm} au-dessus de la partie supérieure du porte-mèche.

Lorsqu'on veut se servir de la lampe pour s'éclairer, il suffit de donner à la mèche sa hauteur ordinaire, la flamme dépasse beaucoup l'arête supérieure des deux écrans et éclaire d'une façon assez satisfaisante, quoique un peu moins que dans les conditions habituelles.

Lorsqu'on veut se servir de la lampe comme indicateur, on abaisse la flamme jusqu'à ce qu'en faisant passer le rayon visuel par les arêtes supérieures des deux écrans, celle-ci soit complètement invisible.

Quand cette condition est remplie, on distingue, avec une teneur en grisou de 1/2 p. 100, une auréole assez nette, mais qui passe inaperçue si l'on n'a pas acquis préalablement une assez grande habitude de ce genre d'observation.

Avec 1 p. 100 l'auréole est très visible et peut avoir 2 à 3^{mm} de hauteur.

Avec 2 p. 100 l'auréole a une couleur bleue plus foncée et une hauteur un peu plus grande.

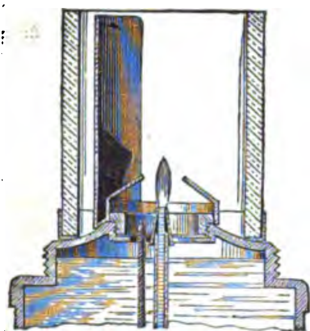
Avec 3 p. 100 l'auréole est encore plus bleue et plus haute.

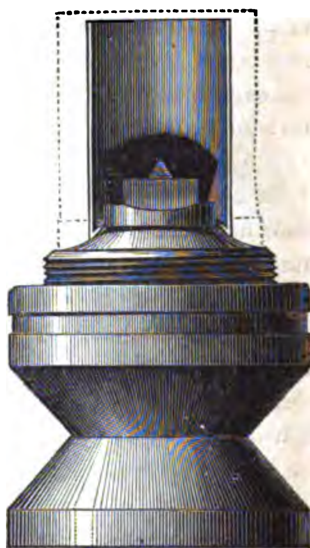
On peut, avec quelque habitude, *en se réglant surtout sur l'intensité de la teinte bleue de l'auréole*, arriver à reconnaître à 1/2 p. 100 près la proportion de grisou contenue dans l'air.

La présence de 3 ou 4 p. 100 d'acide carbonique ne modifie en rien les indications.

On peut rendre l'observation plus nette en regardant la flamme avec une loupe peu grossissante. On améliore aussi les conditions de visibilité de l'auréole en noircissant, du

côté opposé à l'observateur, le verre de la lampe Mueseler, ou en le tapissant d'un drap noir comme l'a fait M. l'ingénieur en chef Castel à Saint-Etienne. Il est encore préférable, comme l'a fait M. Cosset-Dubrulle, fabricant de lampes à Lille, de placer derrière l'indicateur un écran métallique noirci qui épouse la forme du cylindre de verre. L'indicateur, tel qu'il est construit par M. Cosset-Dubrulle, a alors la forme représentée dans les *fig.* 5 et 6.


FIG. 5.


FIG. 6.

Les indicateurs que nous venons de décrire ont été essayés dans l'intérieur de diverses mines à grisou. L'un de nous l'a expérimenté dans une mine du Nord. Il a pu constater ainsi, dans une galerie de retour d'air, la présence certaine du grisou. Il avait conclu à une teneur d'environ 2 p. 100. L'air, recueilli par l'ingénieur de la mine et analysé au laboratoire, a été trouvé contenir 1,45 d'hydrogène protocarboné. La présence du grisou dans la

galerie était impossible à constater à la lampe, et même niée par le personnel de la mine.

L'indicateur a été essayé à Saint-Étienne par les soins de MM. Castel, Meurgey, Chansselle et d'autres ingénieurs du bassin. Les expériences ont montré de la façon la moins douteuse qu'on pouvait, avec notre appareil, constater des proportions de grisou que ne décèle pas la lampe ordinaire.

On est arrivé aux mêmes conclusions à Bessèges et à Anzin. Les résultats ont été négatifs à Blanzy, mais il est présumable qu'il y a eu quelque chose de défectueux dans les essais, ou que ceux-ci n'ont pas été poursuivis assez longtemps.

On a vu qu'avec la lampe Davy ou la lampe Mueseler, mais préférablement avec cette dernière, on peut constater, avec quelque expérience et un peu de soin, 3 p. 100 de grisou. Cela nous paraît suffisant dans la pratique courante.

Mais il est important, dans bien des cas, de constater la présence du gaz, même lorsqu'il est en proportion inférieure à 3 p. 100. C'est ainsi qu'il y a le plus grand intérêt à étudier, à des époques fixes et le plus souvent possible, les galeries de retour d'air, car l'analyse de l'air qui les parcourt est le moyen le plus sûr de se rendre compte de l'état de la mine au point de vue du dégagement du grisou. Or, dans ces galeries, l'état de la mine serait des plus fâcheux si la proportion de grisou était égale ou supérieure à 3 p. 100. Nous croyons que, dans ce cas, l'indicateur pourra rendre des services réels.

Conclusions.

En résumé, nous croyons que le mineur peut toujours être renseigné exactement sur la quantité de grisou que contient l'air de la mine en un point donné, par les phéno-

mènes rassemblés dans le tableau suivant qui sera la conclusion naturelle de notre travail.

PROPORTION de grisou.

1 p. 100 L'indicateur montre une petite auréole d'un bleu très pâle.

La flamme de la lampe s'allonge légèrement, de 2 à 3 millim. On peut apprécier exactement cet allongement avec la lampe Mueseler en faisant affleurer la flamme, dans l'air pur, à la base du cône.

2 p. 100 L'indicateur montre une petite auréole d'un bleu assez foncé.

La flamme de la lampe s'allonge de 5 à 6mm environ.

En baissant la mèche de manière à ne plus apercevoir de point brillant dans la flamme, on voit celle-ci surmontée d'une petite auréole bleue très peu visible.

3 p. 100 L'indicateur montre une auréole d'un bleu foncé.

La flamme de la lampe s'allonge de 10mm euviron.

En baissant la mèche de manière à ne plus apercevoir de point brillant dans la flamme, on voit celle-ci surmontée d'une auréole bleue peu visible de 6mm de hauteur environ.

4 p. 100 L'indicateur devient inutile.

La flamme s'allonge de 20mm environ.

La flamme étant baissée de manière à n'être plus éclairante, on la voit surmontée par une auréole très peu visible de 6 à 10mm de hauteur.

5 p. 100 L'indication donnée par l'allongement de la flamme devient superflue.

La flamme ayant sa hauteur normale, l'auréole bleue qui la surmonte a, *dans la lampe Davy*, une hauteur de 10cm et plus.

Dans la lampe Mueseler, l'auréole est cylindrique et s'engage dans l'intérieur du cône où elle disparaît.

6 p. 100 Le cylindre de toile de la lampe Davy se remplit de flamme.

Dans la lampe Mueseler, l'auréole bleue s'évase en haut de manière à venir épouser le contour de la base du cône.

7 p. 100 La lampe Davy se remplit de flamme.

La lampe Mueseler s'éteint.

ÉLOGE DE VICTOR REGNAULT,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES,

Par M. J.-B. DUMAS, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences,
lu dans la séance publique annuelle du 14 mars 1881.

Messieurs, ce n'est pas sans émotion que je viens devant l'Académie, à la fin de ma carrière, consacrer quelques pages à la mémoire d'un confrère que j'ai profondément admiré et beaucoup aimé : Victor Regnault. Dès ses débuts, les circonstances nous avaient rapprochés, et les événements ont semblé se plaire à nous mettre en contact plus intime encore aux heures décisives de son existence, parfois si heureuse et souvent si tourmentée.

Parmi les savants dont les travaux ont pris une place éminente et durable dans nos annales, il n'en est aucun dont la vie ait offert les contrastes qu'on rencontre dans celle de Regnault. Quand la fortune semblait lui sourire et l'accabler de ses dons, au fond toujours irritée et menaçante, elle se réservait de le traiter en marâtre et de le dépouiller de toutes ses faveurs par le plus sauvage des retours. Il y a vingt ans, entouré d'une famille nombreuse, au milieu de laquelle brillait, dans tout l'éclat de sa renommée naissante, le jeune artiste dont la France en pleurs a consacré la mémoire héroïque, Regnault avait vu, coup sur coup, disparaître tous les siens; doué de la raison la plus ferme, il avait senti son intelligence s'obscurcir ; habile à tous les exercices du corps, infatigable même, il venait naguère vers nous, affaissé sous le poids d'une vieillesse prématurée, soutenu par un bras charitable, et

traînant des membres impuissants que la volonté ne dirigeait plus. Entré dans la vie par un chemin difficile et rude, il avait rapidement conquis tous les honneurs, amassé tous les biens, connu toutes les joies; victime d'une fatalité implacable, il descendait, avec la même hâte fiévreuse, toutes les étapes de la voie douloureuse. On dirait que deux divinités rivales se rencontrant près de son berceau, tandis que l'une lui promettait tous les succès, l'autre le condamnait à tous les revers.

André-Privat Regnault, son père, originaire de Paris, capitaine au corps des ingénieurs géographes militaires, s'était marié, en 1807, à l'âge de vingt-huit ans, à Aix-la-Chapelle, avec une jeune femme de famille italienne, Marie-Thérèse Massardo. Cette union, qui devait être si courte, leur avait donné deux enfants : une fille et un fils. Notre futur confrère, Victor Regnault, né en 1810, avait deux ans à peine, lorsque, pendant la campagne de Russie, en 1812, l'infortuné capitaine, mortellement blessé, était abandonné sur la route de Wilna. Frappés par ce premier deuil de tragique présage, ses enfants devaient bientôt en connaître un second; Mme Regnault mourait à son tour, épuisée de douleur, laissant deux orphelins, sans famille, sans ressources, mais non sans appui.

En effet, ils n'étaient pas abandonnés de la Providence. Parmi les camarades d'armes du capitaine Regnault, un officier du même âge et du même grade, Jean-Baptiste Clément, fidèle aux nobles traditions de la fraternité du champ de bataille, n'avait cessé de témoigner à la veuve de son ami la plus constante sollicitude, et, lorsque la fille d'un membre de l'Académie française, Alexandre Duval, devint sa compagne, les enfants Regnault trouvèrent en Mme Clément une seconde mère.

La prudence commandait de leur donner un état; ils furent placés, rue Richelieu, dans un maison de nouveautés, où le jeune Victor fut bientôt distingué : sa vive

intelligence, son entrain, son précoce bon sens, tempéré par la gaieté communicative qui ne l'abandonna jamais, tout en lui provoquait la sympathie. Jusqu'à l'âge de dix-huit ans, il remplit les fonctions les plus modestes. Commis exact et scrupuleux, on lui laissait quelque liberté, il n'en abusa pas; les heures dont il pouvait disposer, il les consacrait à la Bibliothèque nationale. Il reconnut bientôt que les éléments des mathématiques ne lui offraient aucune difficulté, et il en poursuivit l'étude. Son père avait appartenu aux armes savantes; l'École polytechnique lui apparut dans le lointain, non comme l'objet de ses rêves, Regnault ne fut jamais rêveur, mais comme un but précis, marqué à sa légitime ambition.

Ses heureuses facultés reconnues, on n'hésita pas à le faire entrer dans une institution préparatoire à l'École polytechnique, où bientôt une supériorité incontestée l'élevait au rôle de répétiteur. La pauvreté ne lui avait pas seule inspiré le goût du travail; il le tenait de la nature; mais elle lui avait donné l'habitude de toutes les sobriétés, le mépris des besoins factices, et rien n'est plus touchant que de le voir préparant dès ce moment à sa sœur, par le produit respecté de ses leçons, une modeste dot, caisse d'épargne fraternelle à laquelle il ne cessa plus de verser.

Désormais les difficultés semblaient vaincues; Regnault touchait au but. Mais si la divinité secourable avait veillé sur lui, la divinité sinistre ne l'oubliait pas; une maladie grave vint le frapper, au moment même où s'ouvrait la session pour l'admission à l'École polytechnique, et son examen fut remis à la fin de la liste.

C'est ainsi qu'il arrivait aux extrémités de la France, dans la dernière des villes où les candidats devaient se rendre, à l'heure même où il s'agissait de subir l'épreuve décisive. L'examinateur, M. Lefébure de Fourcy, n'était pas tendre. Deux fois déjà, mais en vain, il avait appelé Regnault, et il levait la séance lorsque celui se présenta. Sa figure pâle,

son menton imberbe, sa longue chevelure blonde, ses traits amaigris par la maladie, altérés encore par la fatigue d'une longue route en diligence, tout annonçait un débile enfant dont l'examen serait court. Les assistants réprimèrent à peine leur sourire, en entendant M. Lefébure de Fourcy débuter avec lui par une des plus difficiles questions du programme, comme s'il voulait, du premier coup, exécuter un importun. La réponse ne laissant rien à désirer, un duel à outrance s'ouvrit entre l'examinateur, bien portant et maître de sa pensée, et le candidat, luttant contre l'épuisement, mais ne laissant paraître aucune défaillance intellectuelle. Aux questions succédaient les questions; M. Lefébure semblait s'oublier; il grossissait sa voix à mesure que celle de Regnault allait faiblissant, et l'auditoire, ému, se passionnait pour ce jeune homme près de tomber évanoui.

Ce supplice ayant pris fin, Regnault s'éloignait entouré des plus vives sympathies, tandis que M. Lefébure écoutait, sans s'émouvoir, les murmures qui s'élevaient sur son passage. Il connaissait trop bien le personnel des écoles prépatoires pour ignorer la valeur de Victor Regnault, dont la place était marquée aux premiers rangs, et il voulait qu'elle fût confirmée par l'opinion, précisément à cause de la mesure qui avait retardé l'époque de son examen.

Regnault entrait à l'École polytechnique en 1830. Une large carrière s'ouvrant désormais devant lui, il n'avait plus qu'à se laisser porter par le courant. Une puissance de travail singulière, une clarté d'esprit inaltérable, une aptitude naturelle pour la partie mathématique des études, une main de la plus rare habileté pour les travaux graphiques, rien ne lui manquait.

Cependant la destinée lui réservait encore une triste surprise. On était à une époque troublée; l'École polytechnique était le point de mire des émeutes; les élèves furent munis de fusils. En soulevant brusquement son arme, Re-

gnault atteignit une lampe dont le verre, brisé par le choc, vint, en tombant, pénétrer dans son œil gauche, faire craindre la perte de l'organe et rendre, en tout cas, un long repos nécessaire. Malgré cet échec, Regnault sortait au premier rang à la fin de ses études. Après deux ans passés à l'École des mines, il visitait les houillères d'Anzin, examinait les procédés métallurgiques de la Saxe et s'arrêtait enfin parmi les élèves de Liebig, dans le célèbre laboratoire de Giessen. Ses journaux de voyage, fort remarqués au conseil des mines, le signalaient comme l'une des espérances de ce corps célèbre.

Les professeurs de l'École polytechnique, de leur côté, s'étaient promis d'y rappeler Regnault dès qu'une place de répétiteur deviendrait vacante; il était propre à toutes. Le hasard en décida. Après un séjour momentané à Lyon, où il avait été chargé du cours de chimie de la Faculté, comme suppléant de notre confrère, M. Boussingault, il rentrait à l'École polytechnique en 1836, attaché à la chaire de Gay-Lussac. Quelques mois après, il contractait, avec M[lle] Clément, cette union que leur enfance avait préparée et à laquelle les grâces ineffables de la jeune épouse, ainsi que les brillants débuts du jeune savant, semblaient promettre la plus enviable destinée.

Les mémoires consacrés à des études de pure chimie, que Regnault publia d'abord, prouvent que toutes les théories de cette science lui étaient familières, qu'il possédait à un degré peu commun le maniement des procédés les plus délicats de l'analyse, ainsi que l'art difficile de combiner les expériences propres à conduire à des résultats solidement acquis.

On s'occupait alors avec ardeur de chimie organique; ses recherches sur les alcalis végétaux fixèrent toutes les incertitudes sur leur véritable composition.

L'étude de l'action singulière que le chlore exerce sur

certaines matières, dont il soustrait l'hydrogène en prenant sa place, commençait à faire pressentir le rôle auquel la théorie des subtitutions était destinée; Regnault en réalisa les exemples les mieux choisis, et, par des travaux restés classiques, en suivit toutes les étapes depuis le point de départ jusqu'à l'extrême limite.

L'eau est si souvent mise en contact avec les métaux, dans les recherches scientifiques du laboratoire ou dans les procédés pratiques de la métallurgie, qu'on ne vit pas sans surprise ses expériences signaler des réactions imprévues dans les rapports de ce liquide avec les métaux les plus communs.

Enfin, on s'était contenté, pour l'appréciation de la valeur des divers combustibles, des procédés les plus vulgaires; Regnault fit voir que les anthracites, les houilles, les tourbes et les bois possèdent, comme sources de chaleur, des propriétés liées à leur composition, et tous les jours on applique dans les ateliers les règles qu'il a déduites de ses analyses, pleines d'intérêt, d'ailleurs, pour la géologie.

Qui ne connaît du reste, non seulement en France mais à l'étranger, où les traductions l'ont rendu populaire, l'excellent Traité de chimie publié par notre confrère, lorsqu'il fut chargé de l'enseignement de cette science à l'École polytechnique? Dans ce livre plein de bon sens, écrit avec ordre et clarté, gardant un juste équilibre entre les résultats de l'observation et les conceptions de l'esprit, on trouve cependant une lacune. Rien n'y rappelle la marche des inventeurs, les hasards qui ont guidé leurs premiers pas, les efforts de sagacité ou de génie qui les ont conduits au but. Ce traité prépare le lecteur à répondre correctement au plus exigeant examen; il n'éveille ni la curiosité féconde qui dirige vers l'étude des œuvres originales, ni le sentiment de la méthode à laquelle les découvertes des maîtres sont dues. Malgré la perfection des ouvrages ayant

trait à la chimie publiés par Regnault, ce n'est pas de ce côté, en effet, que le tour de ses idées le dirigeait. C'est par des travaux de précision comme physicien, et non par des inventions comme chimiste, qu'il a mérité la grande place que l'histoire de la science contemporaine lui assigne et que la postérité lui ratifiera.

La transition entre les études de pure chimie qui l'avaient occupé jusqu'alors, et les travaux de physique auxquelles il semblait prédestiné, s'opéra d'une manière accidentielle. Conduit à s'occuper, comme chimiste, des chaleurs atomiques, Regnault ne songeait pas à changer de carrière; cependant, entraîné par une pente naturelle, il se consacra tout entier à l'étude de la chaleur, et il étonna bientôt le monde savant par l'abondance des résultats précis dont il enrichit cette branche de la physique.

Mais aussi quel sujet plus beau d'étude il y a quarante ans! La science et l'économie politique réclamaient alors l'examen approfondi de la chaleur, comme elles réclament aujourd'hui l'étude pratique de la lumière et celle de l'électricité. D'où viennent donc, en ce siècle qui semble l'esclave de la matière et des sens, de telles préoccupations au sujet des forces, c'est-à-dire des conceptions les plus pures de l'intelligence, sinon du contraste entre les anciens moyens d'action de l'homme et les nouveaux?

Le génie civil ouvre les montagnes, construit de gigantesques viaducs, franchit les détroits, détourne les fleuves, impose des digues aux flots de la mer, et perce les isthmes. Ces monuments ne font pas oublier, cependant, les restes imposants que les civilisations antiques ont laissés en souvenir de leur passage sur la terre. Dès l'origine de sociétés, l'Inde et l'Égypte réalisaient des prodiges que nous surpassons à peine. Mais si l'antiquité connaissait l'art de tirer parti des forces de l'homme ou des moteurs animés, elle a ignoré l'art plus délicat d'asservir aux besoins de la civili-

sation la lumière, la chaleur, l'électricité, ces forces si longtemps insaisissables, dont nous exploitons la puissance, et dont nous mettons volontiers en oubli l'idéale beauté, à laquelle les premiers hommes rendaient surtout hommage.

En notre temps positif, hélas! Apollon, fils de Jupiter, dieu de la poésie et des arts, dont le char, précédé par l'Aurore, parcourait la courbe des cieux pour disparaître enflammé dans le sein des flots, ne conduit plus le sublime Chœur des Muses : descendu de l'Olympe, il vient donner le mouvement et la vie à l'atelier du photographe ou aux presses de Gutenberg, et nous le verrons même bientôt contraint à faire auprès de nous l'office de serviteur universel. Lorsque Prométhée, fils de Junon, dérobait le feu du ciel pour en faire l'âme modeste du foyer domestique, il ne prévoyait pas que ce feu, engendrant la vapeur, deviendrait, sous la main d'un humble chauffeur, l'agent hautain, bruyant et formidable, qui dompte les mers, supprime les distances et livre la terre soumise à toutes les énergies de l'activité humaine. L'électricité, dont les éclairs, la foudre et les orages, éclatant sous la main du maître de la voûte étoilée, avaient seuls révélé le pouvoir, descend sur la terre à son tour et se plie maintenant à toutes nos volontés. Sous sa forme inquiétante et magique, elle met en fusion, volatilise ou décompose les matières les plus réfractaires, éclaire nos phares et nos rues, donne le mouvement aux machines, rappelle sur les cadavres les actions éteintes de la vie, et porte au loin la pensée et même la parole, plus rapide en son vol que la messagère des dieux!

Voilà pourquoi la chaleur, la première de ces forces dont on ait tiré parti, provoque, depuis près d'un siècle, une vive attention. Quant à sa nature, on a longtemps hésité. Fallait-il y voir une matière subtile pénétrant les corps, les gonflant, ainsi que l'eau absorbée par une éponge et s'échappant quand ils se refroidissent et se contractent, comme

l'eau qui ruisselle d'une éponge comprimée? Fallait-il y voir, au contraire, une force agitant les molécules de ces mêmes corps d'un mouvement vibratoire, plus lent quand ils sont froids, plus rapide quand ils sont chauds? Les anciens physiciens penchaient pour la première explication; la seconde est adoptée aujourd'hui, comme mieux d'accord avec les phénomènes connus. Quoi qu'il en soit, que se passe-t-il quand on chauffe un solide, un liquide ou une vapeur; quand un solide se liquéfie, quand un liquide devient aériforme, quand la chaleur, enfin, passe d'une substance dans une autre? Autant de problèmes dont notre confrère, se dégageant de toute hypothèse, voulut aborder l'étude et préparer la solution, dès qu'une circonstance, qui intéresse l'histoire de la science, l'eut conduit à s'occuper du dernier d'entre eux.

Il y a un siècle à peine, on ignorait que, pour échauffer au même degré des poids égaux de deux matières différentes, il faut employer des quantités de combustible très variables, et que l'eau réclame plus de chaleur que toute autre substance, pour passer d'un degré du thermomètre à un degré supérieur. Un savant professeur à l'Université d'Édimbourg, Black, que la France pourrait presque réclamer, car il était né à Bordeaux, ayant appelé l'attention sur ce fait étrange, des physiciens habiles montrèrent bientôt que, pour acquérir la même température, l'eau absorbe deux fois plus de chaleur que l'huile, cinq fois plus que le verre, dix fois plus que le fer, trente fois plus que le mercure. C'est ainsi qu'à cette époque où la chaleur était considérée comme une matière, on disait que la capacité de l'eau pour la recevoir dépassait celle de tous les autres corps. Laplace et Lavoisier accordèrent un vif intérêt à ces expériences et aux vues nouvelles dont elles étaient l'expression. Cependant rien n'annonçait encore le rôle qui leur était réservé dans le développement de la philoso-

phie naturelle, lorsque Dulong et Petit furent amenés à s'en occuper.

Le lundi 5 avril 1819, date mémorable, Petit, dont un an plus tard la science déplorait la mort prématurée, montrait, en confidence, à son beau-frère Arago, un chiffon de papier, sur lequel se trouvaient inscrits les rapports selon lesquels les corps simples se combinent, et les quantités de chaleur exigées par chacun d'eux pour s'échauffer d'une manière égale sous le même poids. Au premier aspect, c'était le désordre; mais, en multipliant pour chacun de ces corps les deux chiffres l'un par l'autre, tous les produits se trouvaient égaux. Une heure après, l'illustre secrétaire perpétuel, convaincu que Dulong, toujours hésitant, pourrait s'opposer à la divulgation de cette belle loi, en entretenait ses confrères, par une indiscrétion calculée. Huit jours plus tard, les deux collaborateurs l'énonçaient devant l'Académie elle-même, dans un mémoire célèbre, en ces termes précis : « Les atomes de tous les corps simples ont exactement la même capacité pour la chaleur. » Au milieu du désordre des chiffres, apparaissait tout à coup l'indication claire d'une loi de la nature.

Il n'y eut qu'un cri dans l'Europe savante. Je ne serai démenti par aucun des rares survivants de cette époque; chacun pensait que la philosophie naturelle venait de faire un grand pas! Lavoisier avait prouvé que dans tous les phénomènes de combinaison ou de décomposition des corps, rien ne se perd et rien ne se crée, comme si la matière était formée de particules inaltérables; Berzélius avait employé sa vie à démontrer que ces particules peuvent être considérées comme des atomes capables de s'unir ou de se séparer sans changer de nature ou de poids; mais ces savants illustres avaient envisagé la matière dans ses seuls rapports avec la matière; Dulong et Petit, en rattachant les propriétés fondamentales de la substance pesante à celles d'un fluide impondérable ou d'une force, la

chaleur, semblait donner au vieil atomisme grec une consécration moderne et supérieure.

Malgré le triomphant accueil fait à cette découverte, vingt années s'étaient écoulées, et Dulong se montrait de moins en moins disposé à poursuivre les recherches qu'elle provoquait. Peut-être m'est-il permis de rappeler les efforts persistants que j'ai dû faire pour déterminer Regnault à entrer en lutte avec le problème des chaleurs spécifiques. Longtemps il hésita; s'engageant résolument, enfin, dans une carrière qui devait honorer sa vie, il montra, par la discussion des méthodes et par les combinaisons des appareils, les qualités d'un savant de premier ordre. Il ne cessa jamais, du reste, au milieu de ses plus grands travaux, de s'intéresser au problème des chaleurs spécifiques auquel il avait consacré ses premiers pas dans la carrière de la physique. Il saisit toutes les occasions de multiplier ses expériences, et nul n'en a publié de plus importantes, par l'heureux choix des matériaux, par l'admirable sûreté des résultats, et par la netteté des conclusions. Il découvrit entre divers métaux des ressemblances ignorées. Il étendit aux atomes de toutes les combinaisons, pourvu qu'elles fussent du même ordre, la loi que Dulong et Petit avaient énoncée comme particulière aux atomes des éléments, démontrant ainsi une vérité de la plus haute signification, savoir : que les corps considérés comme simples par la chimie sont seulement des corps du même ordre, et que nous ne connaissons pas encore les véritables éléments.

Dès ce moment, Regnault introduisait un principe nouveau dans les études de la physique expérimentale. Pour en comprendre la portée, il faudrait remonter au traité classique de Biot, où sont exposées, avec une si parfaite lucidité, les corrections de tout genre au moyen desquelles un phénomène complexe serait débarrassé des causes d'erreur qui le troublent, si celles-ci étaient appréciées avec

une précision absolue. Quiconque, adoptant cette marche, emploie des appareils simples, mais exigeant des rectifications nombreuses, reconnaît bientôt qu'elle est pleine de périls. D'un résultat douteux les corrections ne font jamais une vérité, pas plus que d'un coupable les circonstances atténuantes ne font un innocent.

Regnault pose en principe que le résultat de toute expérience doit se dégager net et clair. Il fait usage de mécanismes compliqués, c'est vrai ; mais, si l'appareil est complexe, le phénomène à observer est simple. Dans l'art d'expérimenter en fait de corrections, il ne reconnaît qu'un procédé sûr, c'est celui qui n'en exige pas. N'est-ce pas d'ailleurs la méthode des moralistes profonds, des politiques heureux et des grands capitaines ? N'est-ce pas en écartant tous les détails parasites et marchant droit au but, qu'ils savent mettre en saillie les lignes maîtresses d'une passion, saisir l'heure opportune du succès dans une époque troublée, ou fixer la victoire par une manœuvre décisive, au milieu des désordres d'une bataille ? La doctrine qui a constamment dirigé Regnault est là tout entière, et, en la mettant en évidence, il a rendu aux sciences un service qui ne sera point oublié, car il s'étend à l'art d'interroger la nature dans toutes les directions, et il constitue le premier et le plus important précepte de la méthode expérimentale.

Dès lors, Regnault découvrait un autre point de vue que ses études postérieures lui ont donné l'occasion de mettre en évidence dans des circonstances importantes. Les résultats approximatifs indiquent souvent entre les faits naturels des relations simples, que les résultats exacts ne confirment pas. Les expériences précises de Regnault enlevaient à la loi de Dulong et Petit, établie sur des essais insuffisants, le caractère d'une loi mathématique, et notre confrère a démontré plus tard que celle-ci trouverait seulement son

application dans les gaz qu'il appelle parfaits. Les quantités de chaleur employées pour faire varier la température des liquides ou des solides dépendent de plusieurs causes, parmi lesquelles la masse des molécules reste assez prépondérante cependant pour justifier le sentiment de Dulong et de Petit. Mais la loi qu'ils ont cru découvrir, absolument vraie pour un état idéal de la matière que nous ne réalisons pas, n'apparaît plus que comme un souvenir plus ou moins effacé, quand on opère sur des substances considérées dans l'état grossier où nous les connaissons.

Ce n'est pas tout : il y a deux siècles, Mariotte, prieur de l'abbaye de Saint-Martin-sous-Beaune, constatait que l'air se condense en raison des poids dont il est chargé, et que sous un poids double, par exemple, l'espace qu'il occupait se réduisait à moitié. Regnault fit voir que la loi de Mariotte ne conviendrait qu'à ces gaz qu'il suppose parfaits. Loin d'obéir à une règle uniforme, chacun des gaz connus se comporte d'une manière qui lui est particulière, et, pour des pressions également augmentées, les espaces qu'ils occupent diminuent, en général, plus ou moins, selon qu'ils se rapprochent plus ou moins eux-mêmes du moment où ils prendront la forme liquide.

Enfin, lorsque Gay-Lussac, élève ingénieur de l'École des ponts et chaussées, cherchait, à l'âge de vingt-deux ans, sous l'inspiration de Laplace et de Berthollet, à déterminer quelle expansion éprouvent les gaz quand on les chauffe, les petites différences propres à chacun d'eux lui échappèrent. Il n'hésita pas à considérer les gaz et les vapeurs comme également dilatables par la chaleur. Regnault a démontré que chaque gaz soumis à l'action de la chaleur se modifie d'une manière spéciale, et que des gaz supposés parfaits réaliseraient seuls encore l'idéal dont on avait cru trouver l'expression dans les gaz ordinaires.

Les lois que Mariotte, Gay-Lussac, Dulong et Petit avaient énoncées ont gardé leur caractère usuel; elles n'ont

pas conservé leur précision mathématique ; Regnault, par des expériences irréprochables, a démontré que, vraies pour un gaz idéal dont les particules seraient dépourvues d'action réciproque, elles ne le sont pas tant que cette action se mêle aux effets de la chaleur ou de la pression.

Pour voir disparaître celle-ci, il faudrait atteindre aux régions les plus élevées de l'espace, s'approcher du vide absolu, parvenir à une raréfaction telle que l'air dont nous sommes entourés deviendrait en comparaison un épais milieu, et faire connaissance avec un état de la matière dont on n'a essayé d'approcher que dans ces derniers temps et les propriétés nous échapppent encore.

A mesure que les travaux de notre confrère se multipliaient, on voyait ainsi s'accroître, à la fois, sa confiance dans l'autorité de l'expérience et sa méfiance à l'égard des doctrines. On lui avait enseigné que la chaleur était un corps, elle devenait un mouvement; que les gaz offraient la matière dans le dernier état d'atténuation, et ce n'était plus qu'une poussière moléculaire visqueuse ; que les éléments chimiques étaient de véritables corps simples, et cette grande conclusion de la loi de Dulong et Petit s'évanouissait. Comment, plus tard, eût-il accepté pour définitives des opinions nouvelles dont la durée ne lui semblait pas mieux garantie que celle des théories anciennes qu'il avait dû abandonner ? Au lieu de proclamer des lois éternelles réservées à un domaine idéal, inaccessible, ne fallait-il pas se contenter d'en entrevoir, dans nos régions matérielles inférieures, les vestiges et les souvenirs imparfaits ?

C'est ainsi que Regnault, devenu sceptique, tout en restant passionné pour la vérité, est amené à consacrer sa vie à l'observation des faits précis et à la recherche des formules empiriques. Sous ce double rapport, il laisse un ensemble de documents d'une incomparable richesse et d'une

fécondité que le travail de longues générations n'épuisera pas. Après avoir créé la vraie calorimétrie, il reconstitue successivement l'hygrométrie et la thermométrie ; ses travaux se multiplient, ses publications se succèdent rapidement, et toutes se distinguent par une physionomie spéciale et nouvelle. Critique défiant, aucune cause d'erreur ne lui échappe ; esprit ingénieux, il trouve l'art de les éviter toutes ; savant plein de droiture, au lieu de donner le résultat moyen de ses expériences, il en publie tous les éléments qu'il livre à la discussion. Dans chaque question, il introduit quelque méthode caractéristique ; il multiplie, il varie les épreuves, jusqu'à ce que l'identité des résultats ne laisse aucun doute. La manière de Regnault a fait école ; chaque physicien s'y conforme aujourd'hui ; on voudrait le suivre dans tous ses travaux, il faut se borner à quelques exemples.

Un litre d'eau pèse un kilogramme, mais combien pèse un litre d'air ou de tout autre gaz ? Déterminer avec précision le poids toujours si faible d'un gaz emprisonné dans un ballon de verre, alourdi par une armature métallique, constitue une opération délicate. Il faut que le gaz soit pur et sec, que sa pression et sa température soient définies, conditions qu'on avait su réaliser ; mais suspendre un ballon de verre à l'un des plateaux d'une balance et déposer dans l'autre des poids de métal, c'est mettre en présence des masses déplaçant des quantités d'air tellement différentes qu'une correction, une seule, restait encore nécessaire. On l'avait éliminée par un artifice ; Regnault la supprime absolument en équilibrant le ballon contenant le gaz par un ballon compensateur de même volume, suspendu au plateau opposé. Les variations de l'atmosphère devenues indifférentes au système, il se comporte dans ce milieu changeant comme s'il était placé dans le vide invariable, et c'est ainsi que Regnault a déterminé le poids du litre d'air et celui des principaux gaz avec une précision que personne

ne songe à surpasser. C'est également ainsi qu'il a donné à la balance, le plus sûr des instruments scientifiques, sa dernière perfection.

Dans notre jeunesse, nous entendions affirmer, par nos illustres prédécesseurs, dont les vues sur le temps et l'espace n'étaient peut-être pas aussi étendues qu'elles le sont à l'époque actuelle, que la composition de l'air ne variait pas. Ils s'appuyaient sur des analyses effectuées à vingt ans de distance, montrant que la proportion d'oxygène contenue dans l'air n'avait pas changé. Mais notre atmosphère aurait pu perdre ou recevoir plus d'un milliard de kilogrammes d'oxygène, sans que leurs moyens imparfaits eussent signalé cette modification. Des analyses effectuées par un procédé plus sûr nous ayant amenés à penser, M. Boussingault et moi, qu'ils avaient raison, Regnault fut conduit à la même conclusion par une méthode différente; nous pesions l'oxygène, il le mesurait. Mais l'instrument de mesure dont il se servait, l'eudiomètre à mercure, n'était plus l'outil imparfait et grossier de nos pères; il en avait fait un appareil de précision d'une délicatesse absolue qu'un astronome n'eût pas désavoué et qui est demeuré classique. Il avait d'ailleurs varié et multiplié ses analyses sans relâche et jusqu'à parfaite démonstration. Dans les limites de nos moyens d'observation, l'air se montre donc uniforme dans sa composition. Cependant, devenus plus circonspects, oserions-nous affirmer encore qu'il ne se modifiera pas avec les années, quand, autour de nous, tout change et tout se meut?

L'homme et les animaux ont besoin d'air pour respirer. Ils en absorbent l'oxygène; ils lui rendent de l'acide carbonique, comme si le charbon qui fait partie de leurs tissus était brûlé par une combustion lente, d'une manière analogue à celle qu'on observe dans la combustion vive d'une lampe enflammée. La chaleur propre des animaux, qui se soutient pendant que le poumon fonctionne, se dis-

sipe quand la respiration s'arrête, et, il y a près de quatre mille ans, les poètes de l'Inde considéraient déjà la chaleur comme le principe de la vie, et le refroidissement comme l'indice de la mort. Les études considérables entreprises sur la respiration par Regnault, avec le concours de son savant collaborateur M. Reiset, ont porté la lumière sur ces intéressantes questions. Leurs prédécesseurs s'étaient contentés d'étudier le phénomène sur des animaux gênés dans leurs allures. Pour la première fois, ceux-ci furent placés dans un récipient où leurs habitudes étant respectées, ils pouvaient y séjourner indéfiniment. L'air y était renouvelé par d'ingénieux mécanismes dont on ne pourra plus se dispenser de faire usage désormais. Les oiseaux, les mammifères, les reptiles, les insectes, offrent dans leur respiration des différences que les deux éminents observateurs ont mesurées. Les animaux à l'état de repos ou de sommeil, nourris abondamment ou soumis à un jeûne prolongé, les animaux hibernants eux-mêmes ont été comparés. Dans l'état d'hibernation, la température du corps étant descendue à 12°, la respiration s'abaisse à des quantités à peine appréciables, et, loin de diminuer, le poids du corps augmente. Quelle serait la durée de la vie dans ces conditions de torpeur qu'ont traversées peut-être certains mammifères de l'époque glaciaire? C'est ce que nous ignorons; mais, d'après ces résultats, on peut présumer qu'elle serait longue, la dépense étant réduite alors à sa plus simple expression.

Regnault, que ses importantes recherches de chimie avaient désigné, dès 1840, au choix de l'Académie, en remplacement de Robiquet, avait été bientôt appelé à monter dans la chaire de Savart et d'Ampère, comme professeur de physique au Collège de France. Prenant pour texte de ses premières leçons les questions les plus pro-

fondes de l'optique, il ouvrait ainsi cette série de cours où la hauteur des vues le disputait à la sûreté des démonstrations et à la ferme clarté du langage. Menant alors de front les travaux du laboratoire et les devoirs du professeur, il renouvelait la science. Entouré de jeunes maîtres heureux de se voir associés à ses recherches, il animait de son ardeur des savants français : MM. Bertin, Reiset, Jamin, Izarn, Descos ; des professeurs étrangers : MM. Soret, Bede, Blaserna, Lubimoff, Pflaunder et sir William Thomson, l'illustre physicien écossais. Les enseignements qu'il leur prodiguait dans la chaire par la discussion sévère des principes, au laboratoire par l'habile exécution des expériences, et dans la conversation par les vives improvisations d'un esprit sans préjugés, ouvert et libre, avaient transformé son amphithéâtre en une véritable académie où planait la statue de la Vérité, et ses leçons, dont tout culte de l'imagination était banni, en un cours de physique supérieure, sans précédent en France.

Pendant les dernières années de sa vie, il revenait avec persistance sur ces souvenirs glorieux et chers. Il mettait sous nos yeux la sténographie de ces cours, embrassant le champ presque entier de la physique. Il aurait voulu en assurer la publication, persuadé que l'originalité du plan et la nouveauté des détails pouvaient rendre service à la science. Mais, ce plan et ces détails ayant transpiré dans les ouvrages classiques, il partageait le sort de tous les professeurs de l'enseignement public, qui donnent à l'auditoire le meilleur de leur vie et dont les idées, s'infiltrant de proche en proche, font si bien oublier leur origine que, s'ils en réclament la paternité, on les prend pour des plagiaires.

Les travaux de notre confrère sur diverses questions de physique forment la matière de cinquante mémoires, pleins de chiffres et de résultats. Ils auraient suffi pour remplir la vie de plusieurs savants, et ils n'étaient cependant que

le prélude de ceux par lesquels il devait marquer sa puissante originalité.

Depuis que la machine à feu est devenue un instrument universel, prenant partout la place des forces trop intermittentes ou trop coûteuses de l'eau, du vent et des moteurs animés, tous les efforts des ingénieurs avaient eu pour but de faire produire à la vapeur le maximum d'effet avec le minimum de dépense. On ne tarda point à reconnaître que le problème resterait insoluble tant que des résultats scientifiques certains n'auraient pas pris la place de l'empirisme.

Il serait difficile d'imaginer une question plus digne de l'attention du savant ou de l'ingénieur et de l'intérêt de l'homme d'État. Les machines à feu se multiplient elles-mêmes et constituent ainsi une population de fer et d'acier dont rien n'arrête l'expansion. Le travail qu'elles produisent déjà dépasse celui de tous les ouvriers de l'espèce humaine. L'armée, la marine, l'agriculture, l'industrie, le commerce, l'art des constructions, c'est-à-dire la défense du pays, l'alimentation publique, le travail national, les moyens de transport, sont également intéressés à la bonne exécution et au meilleur service des machines à feu. Papin, Watt, les créateurs de ces géants dociles, qui ont doublé, en moins d'un siècle, la population active du globe, avaient considéré le problème en mécaniciens. Appliqués à constituer les organes matériels des nouveaux moteurs et à garantir leur jeu régulier, ils n'avaient pas essayé de remonter au ressort caché qui leur communique le souffle et la vie. Ils avaient donné au monstre des os et des muscles de dur métal ; ils n'avaient pas pénétré le secret de ce feu qui en déploie les membres formidables par sa transformation en travail mécanique. Il était réservé à Regnault de poser les bases de cette physiologie nouvelle, et à la science des

mathématiques supérieures d'en élever le monument définitif.

Cette question fondamentale ne s'était pas présentée d'abord à l'esprit des administrateurs. Le gouvernement, chargé de surveiller les machines à vapeur et d'en prévenir les dangereuses explosions, s'était contenté de demander à l'Académie de l'éclairer sur ce sujet restreint. Arago et Dulong avaient institué les expériences nécessaires. Une longue colonne mercurielle, destinée à la mesure exacte des pressions, avait été établie, en 1821, sur leurs plans et avec le secours de l'habile artiste Fortin, dans toute la hauteur de la tour, dite de Clovis, dépendant du lycée Henri IV. Mais, à peine avaient-ils répondu à la question de police industrielle soumise à l'Académie, qu'on se hâtait de détruire tous leurs appareils, dont la présence, disait-on, menaçait la tour d'une ruine imminente. Les noms retentissants d'Arago, de Dulong, de Fortin ne suffirent pas pour protéger contre la décision de quelque subalterne commis les expériences projetées pour étudier le mode de génération de la vapeur; elles se trouvèrent ajournées à des temps meilleurs par cet acte de vandalisme.

Le problème devait être posé de nouveau par le ministère des travaux publics, mieux inspiré, et Regnault, seul, cette fois, physicien, chimiste et mécanicien, tout ensemble, fut chargé de déterminer « les principales lois et les données numériques qui entrent dans le calcul des machines à vapeur », c'est-à-dire de fournir aux ingénieurs les moyens de les perfectionner avec certitude, par des combinaisons réfléchies et non par des essais livrés au hasard. Au commencement du siècle, il fallait consommer plus de trois kilogrammes de houille par heure, pour produire la force d'un cheval; aujourd'hui, un kilogramme suffit. Comment nier l'importance de telles études qui, sans accroître la dépense, mettent à la disposition des nations civilisées des millions et des millions de travailleurs de plus ?

Regnault était trop expérimenté pour ignorer que la moindre erreur commise à l'origine sur les effets de la compression ou de la chaleur produirait de grands désordres, lorsqu'on atteindrait les limites supérieures. Il avait d'ailleurs, dans ses propres résultats, une confiance qu'il n'étendait guère jusqu'à ceux de ses devanciers, quels qu'ils fussent. Ne nous étonnons donc pas si, dans un travail hérissé de tant de difficultés et si grand par ses conséquences, il a voulu, pour le plus grand bien de la science, que tout fût mesuré de ses propres yeux et pesé de ses propres mains.

Le véritable thermomètre étant le thermomètre à air, il détermine de nouveau la dilatation que l'air éprouve par la chaleur. Le thermomètre usuel étant le thermomètre à mercure, il fixe la dilatation du mercure et sa compressibilité. On demandait que les verres de même nature se dilatent par la chaleur de la même manière; il démontre que chaque tube propre à fournir un thermomètre se dilate à sa façon et doit être étudié pour lui-même.

Il constate avec la plus rare précision la force élastique de la vapeur d'eau depuis 34° au-dessous de zéro, quand la glace fournit la vapeur, jusqu'à 230° au-dessus, c'est-à-dire à la pression de 28 atmosphères. Il mesure la chaleur spécifique de l'eau liquide depuis zéro jusqu'à près de 200°; il détermine, enfin, la chaleur totale nécessaire pour réduire l'eau en vapeur sous des pressions variées. Le but pratique proposé à ses investigations était atteint; des expériences d'une exactitude sans égale et d'une originalité féconde, dont l'exposé gigantesque forme un volume entier de nos mémoires, mettaient les ingénieurs en possession de toutes les données nécessaires au calcul des machines à feu.

Mais, si l'administration avait reçu pleine satisfaction, la physique avait d'autres questions à résoudre, que les instruments créés par Regnault lui permettaient d'aborder. Remercions le ministère des travaux publics d'avoir per-

mis que ses études fussent continuées et d'avoir pourvu aux dépenses qu'elles entraînaient. Notre confrère ne pouvait s'en charger; il vivait modestement, lui et son nombreux entourage, des émoluments attachés à ses fonctions de professeur. Remarquons, cependant, que ces dépenses étaient relativement fort modérées, et que les travaux entrepris au profit de l'État par Lavoisier, Gay-Lussac, Thénard, Arago, Dulong, Fresnel, Regnault lui-même, s'ils ont beaucoup rapporté au pays, n'ont jamais ruiné le budget. Ces grands savants étaient tous de grands patriotes prodigues de leur science et de leur temps, avares du trésor national. Ils ont créé au milieu de nous une tradition de désintéressement, d'abnégation et de respect pour les deniers publics, dont l'Académie est fière et qu'elle ne laissera jamais entamer.

Rien ne manquait aux études poursuivies par Regnault; personnel, matériel, ressources, tout était d'accord pour les rendre bientôt complètes. La France pouvait s'enorgueillir de voir s'élever, sous la protection de son gouvernement et par le dévouement de l'un de ses plus dignes fils, cette œuvre monumentale. Le monde civilisé la recevait avec respect, la preuve nous en était bientôt donnée. Les événements de 1848 ayant surpris notre confrère au moment où l'exposé de ses travaux sur la vapeur d'eau venait d'être publié, il semblait bien incertain que les études destinées à les compléter fussent continuées aux frais de l'État. La Société des ingénieurs de Londres, frappée de la beauté des résultats obtenus par Regnault, voulut mettre à sa disposition les fonds nécessaires à la poursuite de ses expériences. Cette proposition ne reçut pas son accomplissement; la France pourvut elle-même à la continuation de l'œuvre commencée et qui reste son œuvre; mais on aime à rappeler ce vote libéral des ingénieurs anglais, constatant une fois de plus que la science appartient au monde civilisé et qu'elle ne connaît pas de frontières.

C'est ainsi que Regnault, après avoir défini les rapports de l'eau avec la chaleur, sous divers états, fit connaître les tensions aux diverses températures et les chaleurs latentes des vapeurs du mercure, du soufre, de l'alcool, de l'éther, de l'esprit de bois, du chloroforme, du sulfure de carbone, de l'essence de térébenthine et de nombre d'autres substances dont la comparaison fournit chaque jour à la physique une base inappréciable de considérations du plus haut intérêt. Le volume de nos mémoires qui renferme ces belles séries d'expériences contient aussi les admirables études sur la chaleur spécifique des gaz et des vapeurs, dans lesquelles notre confrère, déployant toutes les ressources de son génie, s'est surpassé.

Tout en poursuivant des études qui devaient servir de fondement à la théorie mécanique de la chaleur et qu'on allait bientôt mettre à profit, il ne perdait pas de vue le côté pratique des travaux qui lui avaient été demandés. Les ingénieurs chargés de construire les machines à éther et à chloroforme dont la marine essayait l'emploi, pour utiliser la chaleur perdue de la vapeur d'eau, trouvaient dans ce volume tous les éléments nécessaires à leur établissement correct et régulier.

Cependant Ebelmen, qui avait remplacé Alexandre Brongniart comme directeur de la manufacture de porcelaines de Sèvres, venait d'être soudainement emporté, en 1852, dans la force de l'âge, avant d'avoir pris parmi nous la place due à ses rares talents. Après ces deux ingénieurs des mines, il était naturel de réclamer le concours de Regnault, pour diriger un établissement modèle, dans lequel les ressources les plus hautes de la mécanique, de la physique, de la chimie et des beaux-arts sont mises à profit. Qui, mieux que lui, répondait à ce programme? Il ne se décida pas facilement à accepter cette situation. Confident de ses hésitations, je sais que l'espoir de continuer sur un ter-

rain plus vaste les belles recherches dont le Collège de France avait été le témoin privilégié détermina son acceptation.

Quelles années heureuses, mais trop courtes, que celles dont fut suivie sa prise de possession à Sèvres! Mme Regnault, douée d'un esprit délicat, sensible à toutes les beautés de la littérature et de l'art, se trouvait transportée dans un milieu sympathique; ses vieux parents y jouissaient d'une existence plus large; ses enfants, entourés de tous les secours d'une éducation libérale, n'avaient qu'à sortir de la demeure paternelle pour s'ébattre en pleine campagne au milieu des bois. Les rapports d'affection et de voisinage qui existaient entre nos deux familles me donnaient, à chaque instant, l'occasion d'apprécier des joies intimes dont rien ne semblait pouvoir désormais altérer la douceur.

Pendant que notre confrère s'occupait de l'administration de la manufacture de Sèvres, il en perfectionnait les procédés par l'emploi du vide dans le coulage des grandes pièces et par l'intervention des gaz réducteurs dans la cuisson au grand feu des porcelaines décorées au moyen des oxydes métalliques. Il prenait part, en sa qualité d'ingénieur, à la restauration de la machine de Marly. Il dirigeait, comme physicien, les expériences qui ont reconstitué, à Paris, l'industrie du gaz et qui lui ont donné cette marche scientifique dont les consommateurs, la ville et la compagnie recueillent les profits.

Regnault était alors à l'apogée de sa gloire. Ses travaux faisaient autorité. Les jeunes maîtres appliquaient à toutes les branches de la science les méthodes dont il avait fait un si heureux emploi dans l'étude de la chaleur. Toutes les Académies l'avaient adopté; la Société royale de Londres lui avait décerné ses plus hautes récompenses, et les souverains étrangers s'empressaient de reconnaître, par leurs

distinctions, les services qu'il avait rendus à tous les pays. Il n'avait plus qu'à jouir des faveurs dont la fortune le comblait; mais c'est bien à lui qu'il convient d'appliquer les paroles du tragique grec : « Avant de dire d'un homme qu'il est heureux, attendez qu'il soit mort ! »

La vie du savant à la recherche des vérités naturelles ressemble à celle du soldat ; elle connaît les mêmes périls ; elle exige le même sang-froid. Tel d'entre nous vit sans se troubler, au milieu des miasmes, des poisons et des virus mortels ; tel autre, entouré de matières explosives. Regnault possédait au plus haut degré ce courage moral que rien n'étonne. Les dangers qu'il avait courus, le jour où la vapeur de soufre en ébullition mettait le feu à son atelier ou bien quand l'explosion d'un matras plein de mercure bouillant avait labouré son visage, ou bien enfin lorsqu'un récipient de fer, plein d'acide carbonique liquide, éclatait comme un obus entre ses mains, il n'en parlait jamais. Il semblait se considérer comme invulnérable.

Pourtant, un jour du mois d'août 1856, on vint me chercher en toute hâte : victime d'un nouvel accident de laboratoire, cette fois, Regnault était mourant. Je l'avais vu la veille, plein de projets et d'animation ; je le retrouvais sans connaissance, agonisant, étendu sur le sol, dépouillé de ses vêtements et soumis à l'exploration d'un praticien habile, qui, après s'être assuré de l'absence de toute fracture, constatait qu'une commotion cérébrale des plus graves laissait à peine l'espoir de lui sauver la vie, et donnait lieu de tout redouter du côté de l'intelligence. De longs jours se passèrent dans les plus pénibles émotions ; peu à peu, cependant, le corps reprit son équilibre et l'esprit sa lucidité. Toute sa lucidité, qui oserait l'affirmer ?

Au moment où, parvenu au terme de ses longues études expérimentales, il allait en formuler la théorie générale, c'est ainsi que fut brisé le fil qui le guidait. Regnault poursuivit plus tard des travaux qui auraient honoré la vie de

plusieurs physiciens; il n'avait donc rien perdu de son activité; on aurait pu croire même qu'elle s'était accrue. Mais un changement était survenu dans l'équilibre de ses facultés. Il n'était pas toujours maître de sa parole; il semblait avoir perdu le don de conclure, et nous assistions avec inquiétude à ces séances intimes dans lesquelles, ayant une opinion à formuler, son esprit, autrefois si net, si ferme et si mordant, s'égarait en dissertations diffuses.

Étrange destinée! Regnault avait convaincu d'inexactitude les lois de Mariotte, de Gay-Lussac, de Dulong et Petit; ces lois usuelles n'en porteront pas moins les noms de leurs inventeurs à la postérité. Les expériences innombrables, d'une exactitude admirable, dont il a doté la science, seront impuissantes, au contraire, pour assurer à son nom la popularité dont il était si digne. Il ne lui aura pas été donné de condenser sa pensée dans une de ces formules vibrantes qui émeuvent les contemporains et qui brillent encore aux yeux des générations à venir, comme autant de phares lumineux.

C'est bien à tort, cependant, que Regnault était considéré par les esprits superficiels comme voué au culte étroit de l'observation et comme entièrement dépourvu du sentiment de l'idéal. Plaçant son idéal dans un milieu plus haut que ne le croyaient ses juges, il trouvait téméraire d'essayer de s'en former une image concrète. Les hardiesses relatives à l'unité de la matière ou à l'unité des forces ne le séduisaient pas. La conversion de la lumière en chaleur, du magnétisme en électricité, de ces quatre forces l'une en l'autre, ne l'avait pas occupé. Il l'acceptait comme une vue ingénieuse et non comme un résultat certain. Il avait vu s'évanouir tant de vieilles lois, sous sa critique impitoyable, qu'il ne se sentait pas saisi de respect pour de jeunes lois, auxquelles manquait encore l'épreuve de l'expérimentation précise et surtout celle du calcul rigoureux.

Il n'en était pas ainsi de la transformation du travail mécanique en chaleur et de la chaleur en travail mécanique. Son laboratoire du Collège de France possède des appareils inédits auxquels il en avait longtemps demandé, mais en vain, la mesure précise. Il attendait son heure. Mais des esprits éminents s'étant engagés sur la route qu'il tardait trop à aborder, la théorie mécanique de la chaleur, une des plus nobles acquisitions de l'esprit humain, dont Sadi Carnot avait posé les bases en France, avait trouvé en Allemagne et en Angleterre de profonds interprètes. Le calcul s'était emparé du champ que ses expériences avaient défriché, quand il opposait encore à ses prétentions la marche de la méthode empirique.

La chaleur dont il avait suivi, comme s'il s'agissait d'un fluide, l'entrée, le séjour et la sortie dans les matières les plus diverses et à tous les états, devenait un mouvement dont il n'avait pas accepté à temps utile la transformation en travail mécanique et la disparition. Le dernier mot de la théorie des machines à feu, que ses expériences seules permettaient de prononcer, ce n'est pas à lui qu'en restait l'honneur.

D'autre part, des vues déduites d'une conception générale de la matière prenaient une large place dans la science, à leur tour. Il n'était plus question de chercher comment se comportent les gaz chauffés ou comprimés, mais d'établir comment ils devaient se comporter, étant formés de particules invisibles, d'une extrême ténuité, vibrant, tournoyant et rebondissant sans cesse avec une agilité prodigieuse. Les lois de Mariotte et de Guy-Lussac devenaient alors de pures conséquences de cette constitution. La température, dont la définition échappait à Regnault, se liait elle-même à la force vive des gaz ; elle lui était proportionnelle.

Après quelques années de repos et de recueillement,

Regnault, converti pour toujours aux idées nouvelles relatives à la chaleur, mais ne s'écartant pas de ses vues personnelles, complétait son travail expérimental, en déterminant la vitesse de propagation du son dans l'air, pour en déduire, au moyen de la formule de Laplace, le rapport de la chaleur spécifique des gaz sous pression constante et sous volume constant.

Pour se mettre à l'abri des variations qu'une couche d'air présente lorsqu'on étudie la propagation du son sur une étendue de terrain considérable, Regnault voulut opérer dans de longs tuyaux. Il n'avait pas d'ailleurs d'autre moyen à prendre, pour déterminer la vitesse du son dans des gaz purs, et pour comparer, comme il l'a fait, l'acide carbonique et l'hydrogène à l'air. L'administration de la ville de Paris s'empressa de lui offrir les canalisations de la Marne, de la Dhuys, et celles du gaz de l'éclairage, ayant jusqu'à 5.000 mètres de longueur et représentant, avec les réflexions qu'il faisait subir à l'onde sonore, des parcours de 20.000 mètres. Jamais des expériences de cet ordre n'avaient été tentées.

En même temps, la bienveillance particulière dont le chef de l'État entourait Regnault lui permettait d'accomplir sur le plateau de Satory une série d'épreuves, la plus belle et la plus complète qui ait été effectuée, sur la vitesse de propagation dans l'air du son produit par l'explosion des bouches à feu.

Reprenant enfin des études qu'il avait poursuivies et variées pendant vingt années, Regnault publiait en même temps, dans un troisième volume de nos Mémoires, ses recherches sur la détente des gaz et sur les rapports qui s'y manifestent entre le travail produit et la chaleur consommée, établissant enfin, mais bien tard pour sa gloire, l'équivalent mécanique de la chaleur. Le chiffre qu'il indique est un peu plus fort que celui qu'on admet généralement. « Toutefois, ajoute-t-il, je ne regarde pas

les méthodes que j'ai décrites comme suffisamment précises pour déterminer avec certitude la valeur exacte de cet équivalent. Je pense qu'il en est de même pour toutes celles qui ont été proposées jusqu'ici ; car elles contiennent toutes des pétitions de principe, des lois posées sous forme d'axiomes, qu'on devrait avant tout établir par l'expérience. » Donnant l'exemple, il se met à l'œuvre, cherchant par ces méthodes dont il avait le secret et à l'aide de ces instruments, les plus parfaits que la physique ait jamais possédés, à remplacer ces axiomes des théoriciens par des données précises ; il y consacre les dix dernières années de sa vie. Prenant pour objet de ses expériences les gaz liquéfiés sous les plus fortes pressions : l'acide carbonique, le protoxyde d'azote, l'ammoniaque, etc., il en détermine tous les éléments calorifiques. La grande habitude qu'il avait acquise pour le maniement de ces produits dangereux lui permet de réunir à leur égard toutes les données qu'il avait recueillies quand il s'agissait de l'eau. On allait connaître, enfin, avec les résultats de ces étonnantes expériences, toute sa pensée sur la théorie de la chaleur. Mais la fatalité qui pesait sur sa destinée semblait avoir attendu ce moment suprême pour le frapper, cette fois, sans relâche, sans pitié, sans retour.

En 1866, Mme Regnault lui était enlevée, et Mme Clément, ainsi que deux de ses parentes, auxquelles depuis longtemps notre confrère avait offert un asile et qui l'entouraient de leur affection, disparaissaient, à leur tour, laissant désert et désolé ce foyer jadis si vivant et si animé.

Il avait cherché dans les travaux du laboratoire, et il avait trouvé, dans les éclatants succès de son fils, quelque distraction à sa douleur.

Eh bien, en 1870, pendant le siège de Paris, une main brutale anéantissait à Sèvres, occupé par l'ennemi, toutes ses notes et jusqu'au moindre des instruments de ce labo-

ratoire. Rien ne semblait changé dans cet asile de la science, et tout y était détruit. On s'était contenté de casser la tige de ces thermomètres ou de briser les tubes de ces baromètres et de ces manomètres, devenus, par leur participation aux plus importantes expériences du siècle, de véritables monuments historiques; pour les balances et autres appareils de précision, il avait suffi d'en fausser d'un coup de marteau les pièces fondamentales; les registres et les manuscrits, réunis en tas, avaient été livrés aux flammes et réduits en cendres.

Dix ans de travail, et des centaines de résultats que la philosophie naturelle regrettera toujours et ne retrouvera pas, avaient disparu; cruauté dont l'histoire n'offre pas d'autre exemple! On peut excuser le soldat romain qui, dans la fureur d'un assaut, massacrait Archimède; il ne le connaissait pas. « Mais, disait Regnault avec un triste sourire en me montrant ses instruments déshonorés, ce travail de destruction est l'œuvre d'un vrai connaisseur! et cette poussière, ajoutait-il en repoussant du pied les cendres laissées par ses manuscrits, c'est ce qui reste de ma gloire! » Quand on a vécu dans la familiarité de notre malheureux confrère et qu'on a connu son scepticisme habituel, ce mot « gloire », qui lui échappait dans sa douleur, montre quelle importance il attachait à ces manuscrits dévorés par le feu, où se trouvait consignée une pensée qu'il ne retrouva plus, et quels services il attendait encore de ces merveilleux instruments façonnés de ses mains, dont les indications ne l'avaient jamais trompé.

Ce malheur, qui ne frappait que le savant, n'était rien à côté de celui qui, dans le même moment, atteignait le père au cœur. Au milieu du grand désastre de la capitulation de Paris, la population tout entière ressentit un élan nouveau de douleur en apprenant la mort de Henri Regnault, tué à Buzenval, par la dernière balle partie des rangs ennemis; de Henri Regnault, demeuré le symbole touchant

du talent, de la jeunesse, du patriotisme et du malheur. La carrière brillante que l'artiste, encore à son printemps, avait déjà parcourue, les espérances que ses rares facultés avaient inspirées, son caractère ardent et chevaleresque, la popularité dont jouissaient ses œuvres, que la foule, surprise et charmée, entourait à chaque exposition, inspiraient à son père un juste orgueil et la plus profonde tendresse.

Accablé de toutes parts, la première pensée de Regnault, devant cet écroulement des espérances de sa vie, fut de fuir Paris et de se confiner dans une demeure isolée, à Lassigneu, non loin de Genève, où, parmi de nombreux dévouements, il avait été l'objet des plus tendres soins de la part de son ancien disciple, M. Louis Soret, recteur de l'Académie. Il s'occupait à reconstituer son laboratoire et même à reprendre ses travaux, lorsque survint la catastrophe finale qui rappelle les dénouements les plus cruels de la tragédie antique. Sa sœur, Mme Laudin, cette fidèle compagne de ses peines et de ses joies, étant venue lui porter quelque secours, à peine arrivée, le cœur brisé par la douleur, tombait morte dans les bras de son frère. Terrassé par cette nouvelle férocité de la destinée, une attaque de paralysie le condamnait, au même instant, à cette longue agonie dont son ancien collaborateur, M. Reiset, et Mlle Serais, une amie dévouée de la famille, luttant de dévouement, ont essayé d'adoucir les tristesses. Ah! combien ceux que trompaient ses allures insouciantes eussent été surpris, s'ils l'avaient entendu dans ses moments d'épanchement! Songeant à tout ce qu'il avait perdu, il appelait la mort comme une délivrance, ne reprenant un peu de calme qu'auprès de monseigneur de Belley, qui, après s'être montré plein de bonté pour notre confrère dans sa retraite, l'avait adopté dans son malheur, l'assistant de ses consolations jusqu'à la dernière heure de sa vie.

L'Académie, en apprenant ces événements funestes,

avait délégué un de ses membres, M. Henri Sainte-Claire-Deville, pour veiller sur notre illustre confrère dans cette épouvantable épreuve, à laquelle il survécut pendant quelques années.

Dans la séance où il nous faisait ses adieux, une satisfaction singulière lui était réservée : il avait annoncé, en étudiant les effets différents de la pression sur les divers gaz, qu'on parviendrait à liquéfier l'oxygène et l'azote en les comprimant et l'hydrogène en abaissant sa température. Cet élan d'imagination, le seul qu'il se fût jamais permis, les expériences de MM. Cailletet et Raoul Pictet venaient le confirmer d'une manière éclatante! Mais, ironie suprême de la destinée, peut-être n'était-il plus en état de saisir toute l'importance de leurs démonstrations et de jouir de cet hommage rendu à la finesse de ses anciens aperçus.

Il avait eu, cependant, un jour de véritable consolation, lorsque l'exposition des œuvres de son fils, organisée par des soins pieux, eut mis sous les yeux du public étonné le prodigieux travail du jeune et fécond artiste. Le succès populaire qu'elle obtint et le sentiment éclairé des gens de goût, ravivant toutes ses douleurs, y mêlait la seule douceur permise, l'expression de l'universelle sympathie et celle des profonds regrets du pays.

Cette exposition, transformée bientôt en pèlerinage touchant et en démonstration patriotique, offrait un spectacle solennel et laissait une impression profonde. La France se sentait cruellement atteinte dans son prestige par la perte de ces deux grandes intelligences, frappées du même coup : l'artiste, disparaissant au seuil d'une jeune gloire et laissant son œuvre inachevée; le savant, le pied dans la tombe, se survivant pour honorer la mémoire de son fils, et oubliant, pour accomplir cette tâche, la perte de ses derniers écrits, titres d'une gloire en sa maturité, dont une main ennemie venait de jeter les cendres au vent.

Hélas! pauvre Regnault! On se retirait plein de compassion pour ce deuil immense, et maintenant que notre confrère, parvenu au terme de son existence glorieuse et misérable, a trouvé le repos, l'Académie, fidèle interprète de la postérité et seule héritière de sa renommée, s'empresse de lui rendre un hommage public d'affection pour sa personne, de reconnaissance pour ses grands et nobles travaux, de respect pour ses éclatants services et de sympathie pour ses malheurs, en attendant que la science et la nation payent, enfin, leur dette à sa mémoire digne de tous les honneurs.

DISCOURS
PRONONCÉS AUX FUNÉRAILLES
DE M. DELESSE,

MEMBRE DE L'INSTITUT, INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES,

Le 29 mars 1881.

DISCOURS DE M. DAUBRÉE,

Membre de l'Académie des sciences, inspecteur général des mines.

AU NOM DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, DU CORPS DES MINES ET DE L'ÉCOLE DES MINES.

Messieurs, l'Académie des sciences et le Corps des mines viennent de faire une perte bien douloureuse. C'est en leur nom et en celui de l'École des mines, où Delesse a été quinze ans professeur, que j'apporte à ce confrère, à ce collègue, à cet ami, le tribut de nos amers regrets.

Après de solides et brillantes études dans sa ville natale, à ce lycée de Metz qui fournissait tant d'élèves à l'École polytechnique, Delesse fut admis à l'âge de vingt ans à cette école, d'où, en 1839, il sortit le premier de sa promotion, pour entrer dans le Corps des mines.

Dès ses débuts, l'élève-ingénieur s'appliqua avec ardeur aux sciences auxquelles il devait vouer son existence entière. Les voyages qu'il fit alors et qu'il continua plus tard, en France, en Allemagne, en Pologne, en Angleterre et en Irlande, vinrent confirmer et féconder cette vocation. Il ne tarda pas à atteindre des résultats scientifiques remarquables, et, comme récompense, en 1845, l'Université lui confia le cours de minéralogie et de géologie à la

Faculté de Besançon, où Delesse remplissait en même temps les fonctions d'ingénieur des mines.

Après cinq années, il revint à Paris, où il conserva des fonctions universitaires, d'abord comme suppléant du cours de géologie à la Sorbonne, puis en qualité de maître de conférences à l'École normale supérieure. En outre, il remplissait son service d'ingénieur des mines dans l'inspection des carrières de Paris.

Les premières recherches originales du jeune savant concernent la minéralogie pure; il a étudié un certain nombre d'espèces, dont la nature chimique était encore incertaine ou tout à fait inconnue, et son nom a été attribué à l'une de celles qu'il a définies. Il étudia aussi et avec succès les intéressantes modifications désignées sous le nom de *pseudomorphoses*, le mode d'association des minéraux entre eux, ainsi que leurs propriétés magnétiques.

Ses qualités d'habile minéralogiste lui ont été d'un grand secours dans la culture d'une des branches de la géologie, à laquelle Delesse a rendu d'éminents services, dans la connaissance des roches d'origine ignée et d'autres qui s'y rattachent. Il a étudié dans la nature et suivi dans des investigations approfondies de laboratoire, pendant quinze ans, avec une intelligente et infatigable persévérance, et au moyen de centaines d'analyses, les masses éruptives les plus variées, dont la connaissance éclaire les principes mêmes de la science, depuis les granites et les syénites jusqu'aux euphotides, aux mélaphyres et aux basaltes.

Après trente ans d'étude et de progrès, d'autres savants, sans rien changer de ses conclusions, ont pu pénétrer plus avant dans la connaissance intime des roches; mais l'historien de la science n'oubliera pas que Delesse a été un précurseur pour cet ordre de recherches.

Longtemps encore ses études sur le métamorphisme honoreront le nom de Delesse. Les modifications minéralogiques que les roches éruptives ont fait subir aux masses

à travers lesquelles elles ont été poussées, sont des témoins permanents, qui étaient bien faits pour attirer toute son attention. La comparaison chimique de la roche métamorphique avec la roche normale faisait nettement ressortir la nature des substances acquises ou perdues. L'un des principaux résultats de ces analyses a été de restreindre l'importance attribuée jusqu'alors à la chaleur seule et à signaler, dans plus d'un cas, l'intervention de sources thermales et d'autres émanations profondes, auxquelles les roches éruptives ont simplement frayé les voies.

Il n'est pour ainsi dire pas de sujet relatif à l'histoire des roches, que Delesse n'ait abordé, comme le témoignent encore ses travaux sur leur imbibition par l'eau, sur leur écrasement, ainsi que son volume, relatif aux *Matériaux de construction*, publié à l'occasion de l'Exposition universelle de 1855.

La nature des dépôts qui continuent à s'opérer chaque jour au fond des mers offre un fécond intérêt pour le géologue. Il y trouve, en effet, un précieux terme de comparaison avec les terrains stratifiés, qui, malgré l'énorme épaisseur avec laquelle ils constituent une partie des continents, sont d'origine analogue. Delesse a laborieusement étudié les produits d'innombrables sondages opérés dans la plupart des mers. Il en a coordonné les résultats dans un ouvrage devenu classique, avec le bel atlas de cartes sous-marines qui l'accompagne.

Sans ralentir jamais ses propres travaux, il aimait à faire valoir ceux des autres. La *Revue des progrès de la géologie*, dont il a enrichi les *Annales des Mines* pendant vingt années, aurait peut-être suffi à absorber tous les instants d'un savant moins actif, et moins prompt à apprécier la portée d'une découverte.

Cet infatigable théoricien ne négligea jamais les applications de la science. La nature et la configuration des assises qui constituent le sous-sol, le cours et la profondeur des

nappes d'eau souterraines, la composition minéralogique de la terre végétale ont été par lui représentées sur diverses cartes, dressées suivant des méthodes de notations qui lui sont propres. Ses coupes suivant le tracé de plusieurs de nos grandes lignes de chemins de fer, en éclairant la constitution du sol sur lequel elles sont établies, sont aussi d'une utilité journalière.

Tout en poursuivant ses nombreux travaux scientifiques, Delesse ne cessa pas de s'acquitter, avec une régularité parfaite, de ses fonctions dans le Corps des mines. Ayant, en 1864, quitté le service des carrières de Paris, qu'il occupait depuis dix-huit ans, il fut nommé professeur d'agriculture, de draînage et d'irrigations à l'École des mines, où il a créé cet enseignement, avant d'être appelé à fonder le cours de géologie à l'Institut agronomique.

Promu inspecteur général des mines en 1878, et chargé de la division du sud-est de la France, il a conservé jusqu'à la fin de sa vie ces nouvelles fonctions, pour lesquelles l'École des mines l'a vu, avec regret, abandonner ses excellentes leçons.

Pendant la guerre de 1870, Delesse a rempli ses devoirs de citoyen en concourant, comme ingénieur, à la fabrication des cartouches dans les départements.

Sa nomination à l'Académie des sciences, qui eut lieu le 6 janvier 1879, avait satisfait bien justement la noble ambition de toute sa vie.

Il fut, pendant deux années, président de la Commission centrale de la Société de géographie, dont il présida le congrès international de 1875. Il présida également la Société géologique. Il appartenait à la Société nationale d'agriculture ainsi qu'à un grand nombre d'académies et de sociétés étrangères.

Nommé chevalier de la Légion d'honneur en 1854, il fut promu officier en 1876.

Il ne devait pas jouir longtemps de ces positions noble-

ment conquises par son intelligence, son travail, sa science et la dignité de son caractère. Lorsque deux coups douloureux l'eurent frappé comme père, il avait ressenti une première atteinte de la grave maladie qui devait avoir des conséquences si funestes. Son activité d'esprit n'en fut point affaiblie; il n'a cessé de travailler sur son lit de douleur, ainsi que le témoignent les rapports qu'il préparait journellement pour le Conseil général des mines, et celui que, naguère encore, il adressait à l'Académie à l'occasion de ses concours.

L'étendue et la rectitude d'esprit de Delesse, son étonnante puissance de travail, sa science profonde, sa douceur symphatique, qui était associée à une modestie vraie et à une grande loyauté de caractère, l'ont fait estimer et chérir à toutes les époques de son utile carrière.

Cette douceur patiente ne l'a pas abandonné dans les étreintes de sa longue maladie. Les soins, aussi éclairés qu'affectueux, qu'il recevait d'une compagne digne de lui et d'un fils dévoué, furent impuissants contre ce mal, et lorsqu'il s'éteignit, le 24 mars, notre ami trouvait encore dans sa foi sincère la force d'une inaltérable résignation.

En disant un douloureux adieu au confrère, au camarade que nous pleurons, témoignons hautement du souvenir que nous conserverons toujours de ses belles qualités de cœur et d'esprit, et du culte qu'il a voué pendant toute sa vie à la science et au devoir.

DISCOURS DE M. BARRAL,

Secrétaire perpétuel de la Société nationale d'agriculture de France,

AU NOM DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'AGRICULTURE DE FRANCE.

Messieurs, sous les coups répétés de la mort, qui dans

moins d'une année, a frappé trois fois sur votre section de mécanique agricole, votre affliction est profonde ; aujourd'hui, elle est encore augmentée parce que c'est un confrère plus jeune qui disparaît. Vous deviez espérer, lorsque, à la fin de 1873, vous l'avez élu en remplacement de M. Amédée Durand, qu'il vous donnerait pendant de longues années le concours de sa science et de sa persévérance dans la recherche de la vérité et de l'utilité des choses. Et voici que la déception irrémédiable est venue. Notre chagrin est d'autant plus accru devant cette séparation nouvelle, que Delesse était le type de la bontée vraie, de la bienveillance inaltérable, de la loyauté absolue. A cet égard, c'était un caractère dans la force du terme. C'est, pour celui qui remplit la douloureuse obligation de parler en votre nom au bord de cette tombe, un devoir de dire l'étendue de cette bonté. Delesse ne croyait pas au mal, et d'ailleurs il ne s'inquiétait que de faire le bien, estimant qu'il fallait préférer une bonne action perdue à une bonne action refusée.

Vous voudrez bien me permettre de rappeler que, pendant plus d'un demi-siècle, j'ai été le camarade et l'ami de Delesse. Nous étions ensemble au lycée de Metz, et dans les jours de tristesse de la patrie démembrée, nous pleurions ensemble sur les destinées de notre ville natale. A l'École polytechnique, nous nous sommes retrouvés, et de là au moins nous n'avons retiré que de doux souvenirs, car notre chère nourrice commune est toujours florissante. Enfin, sans nous être jamais quittés, nous avons resserré les liens qui nous unissaient depuis notre enfance, au sein de la Société nationale d'agriculture. Partis du même point, ayant suivi des routes parallèles, nous avons éprouvé encore plus d'estime et d'amitié réciproques en cherchant d'un commun accord les meilleures solutions aux nombreux problèmes que la culture du sol pose chaque jour à la science, en lui demandant parfois, tant la confiance est grande chez

ceux qui appliquent les découvertes dans ceux qui recherchent uniquement la vérité pour la vérité, plus qu'elle ne peut donner.

Le caractère distinctif de Delesse était de ne se laisser arrêter par aucune difficulté. On pourrait dire que plus un travail était aride et exigeait de longs et patients labeurs, plus il se trouvait naturellement porté à l'entreprendre. Tel il était déjà dans sa jeunesse, excessivement laborieux, travailleur acharné, tel il s'est montré toute sa vie. C'est ainsi qu'au lycée, à l'École polytechnique, et plus tard comme ingénieur des mines et comme professeur, il finissait par conquérir et par garder le premier rang. Pour l'ardeur au travail et la persévérance, il n'eut jamais d'égal. Lorsque l'on considère l'énumération seule de ses recherches, de ses analyses minéralogiques, géologiques ou chimiques. qui viennent d'être rappelées avec tant d'autorité par notre confrère M. Daubrée, on demeure presque confondu de l'étendue de son œuvre. Il fut un grand et souvent très ingénieux ouvrier de la science, comblant des vides, établissant de solides constructions sur des terrains qui étaient mouvants ou à travers des espaces où d'autres s'égaraient. Il trouvait ou appliquait des méthodes qui faisaient jaillir la lumière dans les ténèbres. C'est à des milliers que s'élèvent les analyses de roches, de minéraux, d'échantillons de terres, de dépôts marins, qu'il a trouvé le temps d'effectuer et de classer d'une manière utile principalement pour l'agriculture.

De très bonne heure, Delesse a compris l'importance des applications agricoles de la géologie. Dans son professorat à l'École des mines, il s'attacha à montrer tous les services que l'ingénieur connaissant bien le sol pouvait rendre à l'agriculture, et il porta les mêmes préoccupations dans sa chaire de l'Institut national agromique. De grands travaux restent à accomplir dans la voie où il était entré résolument et avec succès. On lui doit surtout trois sortes

de cartes : des cartes agronomiques, des cartes agricoles, et enfin des cartes hydrologiques.

Les premières cartes sont une étude minéralogique de la terre végétale. Après avoir reconnu la nature des roches composant le sol arable et déterminé leurs proportions relatives, il représentait, à l'aide de couleurs et de signes conventionnels, les données les plus importantes relatives aux propriétés physiques et chimiques de la terre végétale. C'est d'après ce système qu'il a dressé la carte agronomique des environs de Paris, à laquelle notre Compagnie a décerné, en 1862, une de ses plus hautes récompenses, sur le rapport de notre illustre confrère Élie de Beaumont. On y trouve de précieuses indications sur les amendements dont ont besoin les diverses natures de terrains.

Les cartes agricoles que Delesse a commencé à exécuter sont basées sur la détermination que l'on peut faire des terres arables par les revenus qu'elles produisent, eu égard aux diverses cultures auxquelles on peut les soumettre. Il a établi, d'après ce système, la carte du département de Seine-et-Marne, et il a présenté à notre Compagnie une carte générale de la France où les agriculteurs eu les agronomes ont trouvé de précieux renseignements sur les valeurs relatives des terres dans les diverses régions de notre pays, selon leur situation dans les vallées, sur les coteaux, sur les plateaux élevés ; on y lit en quelque sorte la loi de la distribution des richesses agricoles selon les modes de culture et d'après la nature géologique des régions.

Connaître les eaux souterraines, chercher leur influence sur les récoltes, est un problème de la plus haute importance. Sa bonne solution rend compte d'un grand nombre de difficultés culturales, et elle importe au propriétaire et à l'agriculteur non moins qu'à l'ingénieur chargé du bon aménagement des eaux du pays. L'étude géologique complète du sous-sol de la France permettra de résoudre

un grand nombre de questions relatives à la salubrité, aux inondations, au drainage, à l'exécution de tous les travaux souterrains.

Les cartes hydrologiques de la ville de Paris, des départements de la Seine et de Seine-et-Marne, de la Beauce, que l'on doit à Delesse, sont des modèles.

Il y a un mois à peine, lorsque la maladie cruelle qui l'a emporté lui a interdit d'assister à nos séances hebdomadaires, il nous a envoyé son dernier travail, et il m'a chargé de vous en donner lecture. C'est une étude approfondie de l'influence du sol sur la composition des cendres des végétaux, étude ardue, exigeant un nombre immense de recherches; il n'avait pas hésité devant cette nouvelle entreprise, sans se dissimuler les difficultés de la tâche.

Il avait déjà obtenu des résultats intéressants, après ceux qu'on doit à Théodore de Saussure, à Berthier, à Malaguti et à Durocher ; il a eu la consolation dernière de placer son nom à côté des noms de savants illustres, dont la mémoire sera vénérée tant que les sciences seront en honneur parmi les hommes. En le proclamant devant cette tombe, je remplis envers toi, cher et bon camarade, le devoir sacré d'un confrère bien affectionné, d'un vieil ami.

Depuis l'époque de notre enfance si gaie, si pleine d'espérances, où nous nous admirions ensemble, en nous jouant, les rives de la Moselle, jusqu'aux jours sombres où nous avons vu notre pays natal passer sous une domination qui nous en exilait, tu n'as jamais donné à tes compagnons de route que des exemples de fidélité au bien, au vrai, à la science. C'est un noble héritage que tu laisses à ta famille aimée, à la digne compagne de ta vie ; c'est un pieux souvenir que tes confrères emportent en te disant un dernier adieu.

DISCOURS DE M. FISCHER,

Président de la Société géologique de France,

AU NOM DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE.

Messieurs, les membres de la Société géologique de France ont été douloureusement émus en apprenant la mort de leur éminent collègue M. Delesse, qui, depuis 1843, année de sa réception, n'avait cessé de témoigner son attachement à notre Compagnie en l'honorant de ses communications les plus importantes.

Successivement secrétaire, vice-président, et président en 1862, M. Delesse avait su conquérir, dans ces différentes fonctions, l'estime que méritaient son savoir et son inaltérable bienveillance.

Les discours que vous venez d'entendre vous ont fait connaître la carrière brillante de l'ingénieur des mines et du professeur. Qu'il me soit permis maintenant d'apprécier, en peu de mots, la part que le géologue a prise au mouvement scientifique de ces trente dernières années.

Au début, Delesse est porté vers l'étude des roches ; il nous fait connaître par ses analyses plusieurs espèces rares ou insuffisamment observées : mais il ne s'attarde pas dans cette spécialité, et bientôt un champ plus vaste s'ouvre à ses investigations, celui de la géologie générale. C'est alors qu'il publie ses recherches sur les roches globuleuses, sur l'action de la chaleur et des alcalis, sur le métamorphisme, sur la présence de l'azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre. Puis il aborde, pour la première fois en France, l'étude si intéressante du fond des rivages et des mers. A l'aide d'innombrables analyses, il peut dresser les caractères minéralogiques des roches qui rentrent dans sa composition. Dès lors cette branche de la géologie est constituée, et, sans nul doute, les grandes explorations

sous-marines qui se poursuivent sur divers points du globe, vont apporter de nouveaux matériaux à l'œuvre primitive de notre regretté collègue.

La confection des cartes agronomiques et l'examen des sols arables dans leurs rapports avec la constitution géologique des terrains sous-jacents ont été les derniers travaux de Delesse, ceux dont il s'occupait avec le plus d'ardeur. Son but a été, ce me semble, de chercher sans cesse de nouvelles applications à la géologie et d'agrandir le rôle de notre science en mettant en lumière les services qu'elle peut rendre non seulement à l'agriculture, mais aussi à l'économie domestique, à l'industrie publique ou privée. C'est dans cet ordre d'idées qu'il s'engagea, lors de la publication de ses cartes hydrologiques et géologiques souterraines de la ville de Paris.

Enfin, il n'est pas un géologue qui n'ait consulté avec fruit l'utile *Revue de géologie*, dont il inaugura la publication avec M. Laugel et qu'il continua avec M. de Lapparent. Dans ce recueil les questions les plus importantes de la stratigraphie, de la géogénie, de la pétrographie, sont présentées avec l'impartialité la plus complète et une érudition consommée.

Cette nomenclature bien rapide donne une faible idée de la laborieuse carrière de Delesse. A ces travaux scientifiques multipliés s'ajoutaient encore les fatigues inséparables de sa haute position dans le Corps des mines et du professorat à l'École des mines, à l'École normale supérieure et à l'Institut agronomique. Le fardeau devenait trop lourd pour notre cher collègue, cruellement éprouvé d'ailleurs dans ses affections les plus intimes par la perte prématurée de deux filles qu'il adorait : il succomba à la peine..... Mais les qualités de son esprit et de son cœur laisseront, parmi ceux qui l'ont connu et apprécié comme nous, les plus durables souvenirs.

SUR LES PROPRIÉTÉS OPTIQUES

DES

MÉLANGES CRISTALLINS DE SUBSTANCES ISOMORPHES

ET SUR

L'EXPLICATION DE LA POLARISATION ROTATOIRE

Par M. Er. MALLARD, ingénieur en chef des mines.

Norremberg et Reusch (*) ont depuis longtemps décrit les curieux phénomènes qu'on obtient en superposant des lames de mica très minces, et Reusch a montré comment, avec une certaine loi d'empilement de ces lames, on peut reproduire très exactement les phénomènes que le quartz doit à sa propriété de faire tourner la direction d'une vibration lumineuse.

J'ai ébauché incidemment dans ces Annales (**) une théorie des phénomènes découverts par Norremberg et Reusch, et essayé de montrer qu'elle pouvait éclairer quelques-uns des points les plus importants de la science de la double réfraction. Je me propose dans ce mémoire de développer

(*) Voir la description des combinaisons des lames de Norremberg et de M. Reusch, et celle des phénomènes qu'elles présentent, dans une note de M. Bertin (*Ann. de physique et de chimie*, 4ᵉ s., t. XX).

(**) *Annales des mines*, 7ᵉ série, t. X, 1876. M. Sohncke a donné la théorie des phénomènes optiques produits, suivant l'axe, par les combinaisons de lames de Reusch. Son travail a paru dans les *Annales de Poggendorff* (*Ergänzungsband*, VIII, 1876), quelques mois avant la publication du mien.

cette théorie et d'en tirer, d'une part, le moyen de déduire les propriétés biréfringentes d'un mélange cristallin en partant de celles des corps mélangés, et de l'autre une explication complète et rationnelle de tous les faits que l'on groupe sous le nom de polarisation rotatoire, aussi bien ceux qui se produisent dans les cristaux que ceux que montrent les dissolutions ou les liquides.

CHAPITRE I.

THÉORIE DES PHÉNOMÈNES OPTIQUES PRODUITS PAR LA SUPERPOSITION DE LAMES CRISTALLINES TRÈS MINCES.

Équations relatives à une lame unique. — On imagine un nombre quelconque de lames cristallines superposées, assez minces pour que le carré de leur épaisseur puisse être négligé. On suppose ce paquet de lames traversé par une vibration, rectiligne à l'incidence et se propageant suivant une direction quelconque.

On considère la vibration au moment où elle tombe sur la p^e lame après avoir traversé la $(p-1)^e$. Elle est devenue elliptique et le grand axe de l'ellipse vibratoire est dirigé suivant une droite OX_{p-1} (*fig.* 1, Pl. III) faisant, avec la vibration incidente OP, un certain angle ω; on représente le grand axe de l'ellipse par A_{p-1} et le petit par B_{p-1}.

Les équations du mouvement vibratoire projeté sur OX et sur la direction perpendiculaire OY sont :

$$X = A_{p-1} \sin 2\pi \frac{t-\varphi_{p-1}}{T}, \quad Y = B_{p-1} \cos 2\pi \frac{t-\varphi_{p-1}}{T}.$$

T est la durée de la vibration, t le temps compté à partir du moment où la vibration entre dans le paquet de lames, φ_{p-1} est le temps employé par la vibration à traverser les $p-1$ lames.

En posant, pour abréger,

$$2\pi \frac{t - \varphi_{p-1}}{T} = \tau,$$

les équations du mouvement vibratoire, à l'incidence sur la p^e lame, sont :

$$X_{p-1} = A_{p-1} \cos \tau, \quad Y_{p-1} = B_{p-1} \sin \tau,$$

Le rayon lumineux, constitué comme il vient d'être dit, pénètre dans la p^e lame, dont l'une des sections principales est dirigée suivant Ox_p et fait avec OX_{p-1} un angle égal à γ'. Après la traversée de cette nouvelle lame, l'ellipse vibratoire est modifiée, mais infiniment peu, puisque l'épaisseur de la lame est infiniment mince; ses axes deviennent $A_{p-1} + dA_p$ et $B_{p-1} + dB_p$, et son grand axe, dirigé suivant OX_p, fait avec OX_{p-1} un angle très petit que nous désignerons par $d\omega_p$. Les composantes de la vibration émergeant de la nouvelle lame, évaluées suivant les axes de l'ellipse, sont :

$$X_p = (A_{p-1} + dA_p) \sin 2\pi \frac{t - \varphi_{p-1} - d\varphi_p}{T},$$
$$Y_p = (B_{p-1} + dB_p) \sin 2\pi \frac{t - \varphi_{p-1} - d\varphi_p}{T},$$

$d\varphi_p$ étant le temps employé par la vibration à parcourir la p^e lame, c'est-à-dire l'inverse de la vitesse de propagation de cette vibration multipliée par l'épaisseur de cette lame. En posant, pour abréger,

$$d\varphi'_p = \frac{2\pi\, d\varphi_p}{T} = \frac{2\pi}{\lambda} d\varphi_p$$

il vient

$$(1) \quad \begin{cases} X_p = (A_{p-1} + d\,A_p) \sin (\tau - d\varphi'_p). \\ Y_p = (B_{p-1} + d\,B_p) \cos (\tau - d\varphi'_p). \end{cases}$$

On peut aussi décomposer la vibration en deux compo-

santes dirigées suivant Ox_p et la direction perpendiculaire Oy_p. Ces deux composantes seront :

$$(2) \quad \begin{cases} x_p = A_{p-1} \cos \gamma' \sin (\tau - o'_p) + B_{p-1} \sin \gamma' \cos (\tau - o'_p) \\ y_p = A_{p-1} \sin \gamma' \sin (\tau - o'_p) + B_{p-1} \cos \gamma' \cos (\tau - e'_p) \end{cases}$$

Dans ces équations on pose

$$o'_p = 2\pi \frac{o_p}{\lambda}, \qquad e'_p = 2\pi \frac{e_p}{\lambda}$$

o'_p étant le temps employé par la vibration dirigée suivant Ox_p, à parcourir l'épaisseur ε_p de la p^e lame évaluée suivant la direction de propagation; e'_p étant la quantité analogue pour la vibration dirigée suivant la perpendiculaire à Ox_p.

Si l'on projette suivant OX_p et OY_p les composantes de la vibration évaluées suivant Ox_p et Oy_p, on aura d'autres expressions de X_p et Y_p,

$$(3) \quad \begin{cases} X_p = x_p \cos \gamma_p - y_p \sin \gamma_p, \\ Y_p = x_p \sin \gamma_p + y_p \cos \gamma_p. \end{cases}$$

en appelant γ_p l'angle de OX_p avec Ox_p.

Ces équations, dans lesquelles x_p et y_p doivent être remplacées par leurs valeurs tirées de (2), seront identifiées avec les valeurs de X_p et Y_p tirées de (1), et cette identification nous donnera les valeurs de dA_p et dB_p, $d\varphi'_p$ et $d\omega_p$.

Pour simplifier l'écriture nous poserons

$$\begin{aligned} m &= \cos \gamma_p \quad & n &= \sin \gamma_p \\ m' &= \cos \gamma' \quad & n' &= \sin \gamma'; \end{aligned}$$

et nous supprimerons l'indice $p-1$ en remplaçant par 1 l'indice p.

Les équations (3) deviennent alors, après substitution :

$$\begin{aligned} X_1 = &+ \sin \tau \, [A \, (mm' \cos o'_1 + nn' \cos e'_1) + B \, (mn' \sin o'_1 - m'n \sin e'_1)] \\ &- \cos \tau \, [A \, (mm' \sin o'_1 - nn' \sin e'_1) + B \, (mn' \cos o'_1 - m'n \cos e'_1)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_1 = &+ \sin \tau \, [A \, (m'n \cos o'_1 - mn' \cos e'_1) + B \, (nn' \sin o'_1 + mm' \sin e'_1)] \\ &- \cos \tau \, [A \, (m'n \sin o'_1 - mn' \sin e'_1) + B \, (nn' \cos o'_1 + mm' \cos e'_1)]. \end{aligned}$$

Les équations (1), ordonnées par rapport à $\sin\tau$ et $\cos\tau$, prennent la forme

$$\begin{aligned} X_1 &= \sin\tau\,(A + dA_1)\cos d\varphi'_1 - \cos\tau\,(A + dA_1)\sin d\varphi'_1 \\ Y_1 &= \sin\tau\,(B + dB_1)\sin d\varphi'_1 + \cos\tau\,(B + dB_1)\cos d\varphi'_1. \end{aligned}$$

L'identification des deux expressions du mouvement vibratoire, quel que soit τ, c'est-à-dire le temps, exige qu'on identifie séparément dans chacune des expressions de X_1 et Y_1, les coefficients de $\sin\tau$ et ceux de $\cos\tau$. On a ainsi les équations :

$$(4)\quad \left\{\begin{aligned} (A+dA_1)\cos d\varphi'_1 &= +A\,(mm'\cos o'_1 + nn'\cos e'_1) + B\,(mn'\sin o'_1 - m'n\sin e'_1) \\ (A+dA_1)\sin d\varphi'_1 &= +A\,(mm'\sin o'_1 + nn'\sin e'_1) - B\,(mn'\cos o'_1 - m'n\cos e'_1) \\ (B+dB_1)\sin d\varphi'_1 &= +A\,(m'n\cos o'_1 - mn'\cos e'_1) + B\,(nn'\sin o'_1 + mm'\sin e'_1) \\ (B+dB_1)\cos d\varphi'_1 &= -A\,(m'n\sin o'_1 - mn'\sin e'_1) + B\,(nn'\cos o'_1 + mm'\cos e'_1). \end{aligned}\right.$$

On peut d'ailleurs remplacer l'une de ces équations par celle-ci :

$$A_1^2 + B_1^2 = (A + dA_1)^2 + (B + dB_1)^2$$

ou

$$A\,dA_1 + B\,dB_1 = 0$$

qui exprime la constance de la force vive du mouvement vibratoire.

On regarde l'épaisseur de la lame comme étant une quantité très petite du premier ordre de grandeur ; il en est donc de même de o'_1 et e'_1 qui sont proportionnelles à cette épaisseur.

Si l'on néglige, dans les équations précédentes, les termes qui sont du 2e ordre en ε_1, on peut remplacer $\cos o'_1$ et $\cos e'_1$ par 1, $\sin o'_1$ et $\sin e'_1$ par o'_1 et e'_1. La quantité $d\omega'_1$, est au plus du 1er ordre, on pourra donc remplacer aussi $\cos d\varphi'_1$ par 1, $\sin d\varphi'_1$ par $d\varphi'_1$; les équations (4) deviennent alors :

$$
\begin{aligned}
A + dA_1 &= A(mm' + nn') + B(mn'o'_1 - m'ne'_1)\\
A\,d\varphi'_1 &= A(mm'o'_1 + nn'e'_1) - B(mn' - m'n)\\
B\,d\varphi'_1 &= A(m'n - mn') + B(nn'o'_1 + mm'e'_1)\\
B + dB_1 &= -A(m'no'_1 - mn'e'_1) + B(nn' + mm').
\end{aligned}
$$

On a d'ailleurs :

$$
\begin{aligned}
mm' + nn' &= \cos(\gamma' - \gamma_1) = \cos d\omega_1\\
mn' - m'n &= \sin(\gamma' - \gamma_1) = \sin d\omega_1
\end{aligned}
$$

et l'on peut encore, toujours dans le même ordre d'approximation, poser $\sin d\omega_1 = d\omega_1$ et $\cos d\omega_1 = 1$. Les équations deviennent alors :

$$
\begin{aligned}
dA_1 &= B(mn'o'_1 - m'ne'_1)\\
d\varphi'_1 &= mm'o'_1 + nn'e'_1 - \frac{B}{A}d\omega_1,\\
B\,d\varphi'_1 &= -A\,d\omega_1 + B(nn'o'_1 + mm'e'_1)\\
dB_1 &= -A(m'no'_1 - mn'e'_1).
\end{aligned}
$$

Ces équations montrent que dB et $d\varphi'_1$ sont toujours du 1er ordre de grandeur, et que, par conséquent, l'approximation que nous avons faite pour les obtenir conduit aux expressions exactes de ces trois quantités.

On a donc, en remplaçant, ce qui est permis, m' et n' respectivement par m et n qui n'en diffèrent que de quantités infiniment petites :

$$
\begin{aligned}
dB_1 &= -A\,mn(o'_1 - e'_1)\\
d\varphi'_1 &= m^2o'_1 + n^2e'_1 - \frac{B}{A}d\omega,
\end{aligned}
$$

Quant à dA_1 et $d\omega_1$, ils sont du 1er ordre si B est fini, et du 2e ordre si B est du 1er ordre. L'expression de dA_1 se déduit immédiatement, dans tous les cas, de celle de dB_1. Pour l'expression de $d\omega_1$, il est nécessaire de voir, dans le cas où B est très petit du 1er ordre, si nous n'avons pas supprimé des termes nécessaires du 2e ordre en faisant les approximations admises jusqu'ici.

La 3° des équations exactes (4) est :

$$(B + dB_1) \sin d\varphi'_1 = A\,(m'n \cos o'_1 - mn' \cos e'_1) \\ + B\,(nn' \sin o'_1 + mm' \sin e'_1).$$

On peut toujours remplacer sin o'_1, sin e'_1, sin $d\varphi'_1$ et sin $d\omega$ par o'_1, e'_1, $d\varphi_1$ et $d\omega_1$ puisqu'on ne néglige ainsi que des quantités du 3° ordre. Il faudra, au contraire, remplacer cos o'_1 et cos e'_1 par $1 - \frac{o'^2_1}{2}$ et $1 - \frac{e'^2_1}{2}$. L'équation devient ainsi

$$(B + dB_1)\, d\varphi'_1 = - A \sin d\omega_1 - \frac{A}{2}(m'n o'^2_1 - mn' e'^2_1) \\ + B\,(nn' o'_1 + mm' e'_1).$$

Nous pouvons d'ailleurs, quel que soit B, remplacer $d\varphi'_1$ et dB_1 par leurs valeurs au 1er ordre de grandeur près, puisqu'elles sont multipliées par des quantités du 1er ordre si $d\omega$ est du second. On peut aussi, par la même raison, remplacer m' et n' par m et n ; l'équation devient ainsi :

$$[B - A mn (o'_1 - e'_1)] \left(m^2 o'_1 + n^2 e'_1 - \frac{B}{A} d\omega_1\right) = - A\, d\omega_1 - \frac{Amn}{2}(o'^2_1 - e'^2_1) \\ + B\,(n^2 o'_1 + m^2 e'_1)$$

ou, après réductions,

$$d\omega_1 \frac{A^2 - B^2 + AB\,mn\,(o'_1 - e'_1)}{A} = - B(m^2 - n^2)(o'_1 - e'_1) \\ + A\frac{mn}{2}(m^2 - n^2)(o'_1 - e'_1)^2.$$

On peut toujours négliger $ABmn\ (o'_1 - e'_1)$; car si B est infiniment petit, ce terme n'introduit que des quantités du 3° ordre, et si B est fini, il introduit des quantités de 2° ordre qui disparaissent devant le 1er membre qui est du 1er ordre. On obtient donc

$$d\omega_1 = - \frac{A - B}{A^2 - B^2}(m^2 - n^2)(o'_1 - e'_1) + \frac{A^2}{A^2 - B^2}\frac{mn}{2}(m^2 - n^2)(o'_1 - e'_1)^2.$$

On peut toujours supposer que la vibration incidente est telle que $A^2 + B^2 = 1$; on peut alors considérer A et B comme le cosinus et le sinus d'un certain arc que nous appellerons u. Si l'on remplace, en outre, m et n par les lignes trigonométriques, cos γ et sin γ, que ces lettres représentent, et si l'on rétablit enfin les indices p et $p-1$, en nous rappelant que

$$d\omega'_p = \frac{2\pi}{\lambda} d\varphi_p, \quad o'_p = \frac{2\pi}{\lambda} o_p, \quad e'_p = \frac{2\pi}{\lambda} e_p,$$

et posant $\varepsilon_p \delta_p = o_p - e_p$, on obtient les équations :

$$du_p = -\frac{\pi}{\lambda} \varepsilon_p \delta_p \sin 2\gamma_p,$$

$$\begin{aligned} d\varphi_p &= o_p \cos^2 \gamma_p + e_p \sin^2 \gamma_p \\ &= \frac{1}{2}(o_p + e_p) + \frac{1}{2} \varepsilon_p \delta_p \cos 2\gamma_p - \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{tg} u_{p-1}\, d\omega_p, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d\omega_p = &-\frac{\pi}{\lambda} \varepsilon_p \delta_p \operatorname{tg} 2u_{p-1} \cos 2\gamma_p \\ &+ \frac{\pi^2}{2\lambda^2} \frac{\cos^2 u_{p-1}}{\cos 2u_{p-1}} \varepsilon_p^2 \delta_p^2 \sin 4\gamma_p, \end{aligned}$$

On peut simplifier ces équations si l'on se borne expressément au cas où, les valeurs de u et de ω n'arrivant jamais à être très considérables, on peut négliger les termes qui sont de l'ordre de $\sin^2 u$ ou $\sin^2 \omega$.

On peut d'abord négliger le terme $-\frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{tg} u_{p-1}\, d\omega_p$ dans l'expression de $d\varphi$, puisqu'il contiendrait en facteur $\varepsilon_p \sin^2 u_{p-1}$.

Quant à l'expression de $d\omega_p$, on peut y remplacer $\operatorname{tg} 2u_{p-1}$ par $2u_{p-1}$, puisque l'erreur commise est de l'ordre de $\varepsilon_p \sin^2 u_{p-1}$. On peut aussi remplacer $\frac{\cos^2 u_{p-1}}{\cos 2u_{p-1}}$ par 1, car l'erreur commise est de l'ordre de $\varepsilon^2 \sin^2 u_{p-1}$.

Avec ces simplifications, on voit aisément que l'expression du_p prend la forme

$$d\omega_p = -\frac{2\pi}{\lambda}\varepsilon_p\delta_p\cos 2\gamma_p\left(u_{p-1} - \frac{\pi}{2\lambda}\varepsilon_p\delta_p\sin 2\gamma_p\right).$$

Or $-\frac{\pi}{2\lambda}\varepsilon_p\delta_p\sin 2\gamma_p$ est égal à $\frac{1}{2}\,du_p$, on aura donc

$$d\omega_p = -\frac{2\pi}{\lambda}\varepsilon_p\delta_p\cos 2\gamma_p\left(u_{p-1} + \frac{1}{2}\,du_p\right).$$

D'ailleurs $u_{p-1} + du_p = u_p$, ce qui donne en définitive

$$d\omega_p = -\frac{2\pi}{\lambda}\varepsilon_p\delta_p\cos 2\gamma_p\,\frac{u_{p-1}+u_p}{2}.$$

Les trois équations fondamentales auxquelles nous arrivons sont donc, en résumé, dans l'ordre d'approximation où nous nous sommes placés

(8) $$d\varphi_p = \frac{1}{2}\left(o_p + e_p\right) + \frac{1}{2}\varepsilon_p\delta_p\cos 2\gamma_p.$$

(9) $$du_p = -\frac{\pi}{\lambda}\varepsilon_p\delta_p\sin 2\gamma_p.$$

(10) $$d\omega_p = -\frac{2\pi}{\lambda}\varepsilon_p\delta_p\cos 2\gamma_p\,\frac{u_{p-1}+u_p}{2}.$$

équations dans lesquelles il faut se rappeler que $\gamma_p = \beta_p - \omega_p$, β_p étant l'angle que fait avec la vibration incidente la section principale de la p^e lame à laquelle est parallèle la vibration qui met un temps o_p à la traverser.

CHAPITRE II.

CAS OÙ L'ON NÉGLIGE LA ROTATION DE LA VIBRATION.

PROPRIÉTÉS OPTIQUES DES MÉLANGES ISOMORPHES ET DES CORPS FORMÉS PAR DES GROUPEMENTS MOLÉCULAIRES.

Expressions de u et de φ relatives à un nombre

quelconque de paquets identiques et composés d'un nombre fini de lames. — La valeur de u à l'incidence est nulle, puisque nous supposons rectiligne la vibration incidente. Nous admettons que la pile, quoique composée d'un nombre extrêmement grand de lames, n'est pas cependant assez épaisse pour que u supposé nul à l'incidence, acquière à l'émergence une valeur un peu considérable.

Les quantités u_{p-1} et u_p seront donc toujours petites, et si $\varepsilon_p \delta_p$ est suffisamment petit, on pourra considérer $d\omega_p$ et par conséquent tous les ω comme négligeables. C'est l'hypothèse que nous allons admettre dans tout ce chapitre.

Si U et Φ sont les valeurs de u et φ à l'émergence, o et Φ les mêmes valeurs à l'incidence, on a :

$$\Phi - \Phi_0 = \frac{1}{2} \sum_0^E (o_p + e_p + \varepsilon_p \delta_p \cos 2\gamma_p),$$

$$U = -\frac{\pi}{\lambda} \sum_0^E \varepsilon_p \delta_p \sin 2\gamma_p$$

$\sum_0^E$ représentant, pour l'épaisseur totale E de la pile, une somme de termes analogues à celui qui est écrit, et se rapportant à chacune des lames successives de cette pile.

On voit que chaque terme ne contient que des quantités se rapportant à une même lame; la somme ne changera donc pas par l'interversion de ses termes, d'où l'on déduit que les propriétés optiques de la pile, sauf en ce qui concerne les valeurs de ω, sont indépendantes de l'ordre de succession des lames et ne dépendent que du nombre, de la nature et de l'orientation de celles-ci.

Nous supposerons maintenant la pile composée d'un nombre plus ou moins grand de *paquets* tous identiques entre eux, orientés de la même façon et composés d'un nombre fini n de lames. Chacun de ces paquets est extrêmement mince, puisque chaque lame est elle-même extrêmement mince.

Pour obtenir les propriétés optiques de la pile, il suffira de connaître celles d'un paquet qui pourront être considérées comme celles qui conviennent à une épaisseur dE de la pile, dE étant l'épaisseur du paquet. Au moyen d'une intégration nous obtiendrons les propriétés optiques qui conviennent à l'épaisseur E.

Appelons dU et $d\Phi$ les variations très petites de u et φ, pendant la traversée complète du paquet, nous aurons :

$$d\Phi = \frac{1}{2}\sum_0^{dE}(o_p + e_p) + \frac{1}{2}\sum_0^{dE}\varepsilon_p\delta_p \cos 2\gamma_p.$$

$$dU = -\frac{\pi}{\lambda}\sum_0^{dE}\varepsilon_p\delta_p \sin 2\gamma_p,$$

$d\Phi$ est le temps employé par la vibration à parcourir le paquet d'épaisseur dE. Appelons R' la vitesse moyenne de propagation pendant ce parcours, nous aurons :

$$d\Phi = \frac{dE}{R'}.$$

On a d'ailleurs :

$$o_p = \varepsilon_p \frac{1}{r'_p}, \quad e_p = \varepsilon_p \frac{1}{r''_p}$$

r'_p étant la vitesse de propagation, dans l'intérieur de cette lame, de la vibration dirigée suivant la section principale qui fait avec la vibration incidente l'angle γ_p;

r''_p étant la vitesse de propagation de la vibration perpendiculaire à la précédente.

L'expression de $d\Phi$ donne donc

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{2}\sum\frac{\varepsilon_p}{dE}\left(\frac{1}{r'_p} + \frac{1}{r''_p}\right) + \frac{1}{2}\sum\frac{\varepsilon_p}{dE}\delta_p \cos 2\gamma_p.$$

Il est très facile de construire géométriquement le second terme du deuxième membre de cette équation. A cet effet, nous menons une direction OP représentant la direction de la vibration incidente (*fig.* 2) ; puis, à partir de O, une ligne polygonale O 1 2 3...n, telle que la direction positive du p^e côté fasse avec la direction OP un angle égal à $2\beta_p$; la

longueur de ce côté étant égale à $\frac{\varepsilon_p}{dE}\delta_p$, et étant portée dans le sens positif ou le sens négatif suivant que δ_p est positif ou négatif. La projection sur OP de la ligne polygonale représente la valeur algébrique de $\sum \frac{\varepsilon_p}{dE}\delta_p \cos 2\beta_p$.

En appelant L la longueur de cette projection, on aura donc :

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{2}\sum \frac{\varepsilon_p}{dE}\left(\frac{1}{r'_p} + \frac{1}{r''_p}\right) + \frac{L}{2},$$

Si l'on supposait la vibration incidente dirigée non plus suivant OP, mais suivant une droite perpendiculaire à OP, chaque β deviendrait $\frac{\pi}{2} - \beta$ et chaque 2γ, $\pi - 2\beta$. On aurait une autre vitesse de propagation moyenne R″ exprimée par

$$\frac{1}{R''} = \frac{1}{2}\sum \frac{\varepsilon_p}{dE}\left(\frac{1}{r'_p} + \frac{1}{r''_p}\right) - \frac{L}{2},$$

d'où l'on déduit

$$\frac{1}{R'} - \frac{1}{R''} = L.$$

Dans la *fig.* 2, la longueur nn' de la ligne qui projette la ligne polygonale est égale à $\sum \frac{\varepsilon_p}{dE_p}\delta_p \sin 2\beta_p$; elle est donc égale à $-dU$ divisé par $\frac{\pi}{\lambda}$. La condition nécessaire et suffisante pour que $dU = 0$, c'est-à-dire pour que la vibration rectiligne incidente dirigée suivant OP ressorte rectiligne, est donc que OP soit la ligne qui ferme le polygone.

La direction OP, qui satisfait à cette condition, faisant avec la section principale O1 de la première lame, un angle égal à $2\beta_1$, la direction de la vibration incidente qui lui correspond fait avec la section principale de la 1re lame

un angle égal à β_1. Il y a deux directions qui résolvent la question, à savoir la direction OP qui fait avec Oı un angle égal à $2\beta_1$ et la direction opposée qui fait avec Oı un angle égal à $\pi - 2\beta_1$. On peut donc donner à la vibration incidente deux directions différentes pour satisfaire à la condition qu'elle ressorte rectiligne; l'une d'elles fait avec Oı un angle égal à β_1, et l'autre un angle égal à $\frac{\pi}{2} - \beta_1$. Ces deux directions, perpendiculaires entre elles, jouent dans le paquet de lames le rôle des sections principales dans une portion très petite d'un milieu biréfringent ordinaire.

Les inverses des vitesses moyennes R′ et R″ de propagation des vibrations parallèles à ces deux directions, sont données par les équations précédentes. On a d'ailleurs :

$$\frac{1}{R'} - \frac{1}{R''} = L.$$

La longueur qui ferme le polygone représente donc la différence du temps employé par les deux vibrations principales pour traverser l'unité d'épaisseur du paquet de lames.

Composition des ellipsoïdes inverses des lames. — On voit que le paquet de lames que nous avons considéré jouit de propriétés biréfringentes fort analoges à celles qui caractérisent une portion très petite d'un milieu biréfringent homogène. Toutefois nous n'arrivons ainsi qu'à une simple analogie, et les propriétés optiques du paquet ne sont pas régies, comme cela devrait être pour qu'il y eût identité, par un certain ellipsoïde inverse.

Mais nous pouvons aller plus loin en usant d'un procédé d'approximation qui rend de grands services dans l'étude de tous les phénomènes de la double réfraction.

On sait que toutes les substances cristallisées, à quelques

très rares exceptions près, ont une double réfraction assez faible pour que l'on puisse représenter, sans erreur sensible, tous les rayons vecteurs de l'ellipsoïde principal par une expression de la forme

$$r = b + \alpha,$$

b étant l'axe moyen et α une quantité petite dont on peut négliger le carré.

Si l'on considère une certaine direction de propagation, le plan de la vibration coupe l'ellipsoïde inverse de l'une des lames suivant une ellipse qui, rapportée à ses axes, a pour équation :

$$\rho^2 (r'^2 \cos^2 \beta + r''^2 \sin^2 \beta) = 1,$$

ρ étant la longueur du rayon vecteur qui fait avec les axes de l'ellipse des angles β et $\frac{\pi}{2} - \beta$, $\frac{1}{r'}$ et $\frac{1}{r''}$ étant les grandeurs de ces axes.

Si l'on pose

$$r' = b + \alpha' \quad r'' = b + \alpha'',$$

on a sensiblement :

$$r'^2 = b^2 + 2b\alpha', \quad r''^2 = b^2 + 2b\alpha'',$$

et, par une série de transformations très simples, on trouve :

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{r'^2 \cos^2 \beta + r''^2 \sin^2 \beta}} = \frac{1}{b\sqrt{1 + \frac{2}{b}(\alpha' \cos^2 \beta + \alpha'' \sin^2 \beta)}}$$

$$= \left(\frac{1}{b} - \frac{\alpha'}{b^2}\right) \cos^2 \beta + \left(\frac{1}{b} - \frac{\alpha''}{b^2}\right) \sin^2 \beta,$$

et en remarquant que :

$$\frac{1}{b} - \frac{\alpha'}{b^2} = \frac{1}{b + \alpha'} = \frac{1}{r'}$$

on obtient

$$\rho = \frac{1}{r'}\cos^2\beta + \frac{1}{r''}\sin^2\beta.$$

Construisons, autour d'un même centre, des ellipsoïdes dont chacun sera semblable à l'ellipsoïde inverse optique de l'une des lames avec $\frac{\varepsilon}{dE}$ pour coefficient de similitude. L'orientation de chaque ellipsoïde sera d'ailleurs celle qui est déterminée par l'orientation, dans le paquet, de la lame correspondante.

Le plan perpendiculaire à la direction de propagation considérée, coupe un de ces ellipsoïdes suivant une ellipse dont l'équation, rapportée à ses axes, $\frac{1}{r'}$ et $\frac{1}{r''}$, est approximativement

$$\rho = \frac{\varepsilon}{dE}\left(\frac{1}{r'}\cos^2\beta + \frac{1}{r''}\sin^2\beta\right).$$

La valeur de $\frac{1}{R}$, pour une direction quelconque de la vibration incidente, est

$$\frac{1}{R'} = \sum \frac{\varepsilon}{dE}\left(\frac{1}{r'}\cos^2\beta + \frac{1}{r''}\sin^2\beta\right).$$

On peut donc écrire

$$\frac{1}{R} = \sum \frac{dE}{\varepsilon}\rho.$$

Si l'on regarde $\frac{1}{R}$ comme un rayon vecteur variable, cette dernière équation est celle d'une courbe que l'on obtiendrait en prenant pour rayon vecteur suivant une certainé direction du plan, la somme des rayons vecteurs, correspondant à cette direction, des ellipses propres à chaque lame.

Il est aisé de voir que, en restant toujours dans les

mêmes limites d'approximation, cette courbe est une ellipse. En effet, reprenons l'équation de l'une des ellipses composantes sous la forme

$$\rho = \left(\frac{1}{b} - \frac{\alpha'}{a^2}\right)\cos^2\beta + \left(\frac{1}{b} - \frac{\alpha''}{b^2}\right)\sin^2\beta$$
$$= \frac{1}{b} - \frac{1}{b^2}\left(\alpha'\cos^2\beta + \alpha''\sin^2\beta\right).$$

Si l'on rapporte l'ellipse à des axes quelconques, la direction du rayon vecteur, qui fait avec les axes de cette ellipse des angles égaux à β et $\frac{\pi}{2} - \beta$, fera avec les nouveaux axes des angles dont on désignera les cosinus par m et n. On peut exprimer $\cos\beta$ et $\sin\beta$ en fonctions linéaires de m et n; la nouvelle équation de l'ellipse sera donc de la forme

$$\rho = \frac{1}{b} - \frac{1}{b^2}\left(Am^2 + Bn^2 + Cmn\right),$$

A, B, C, étant de petites quantités de l'ordre de grandeur de α' et α''.

On aura

$$\frac{1}{R} = \sum \frac{\varepsilon}{dE}\rho = F - G,$$

en posant

$$F = \sum \frac{\varepsilon}{dE}\cdot\frac{1}{b}, \quad G = \sum \frac{\varepsilon}{dE}\left(Am^2 + Bn^2 + Cmn^2\right).$$

A cause de la petitesse de G, on peut prendre

$$\frac{1}{R} = F\frac{1}{1+\frac{G}{F}};$$

d'où l'on tire

$$\frac{1}{R^2} = F^2\left(1+\frac{G}{F}\right)^2 = \frac{1}{R^2}F^2\left(1+2\frac{F}{G}\right) = 1.$$

En appelant x et y les coordonnées, par rapport aux

nouveaux axes, de la courbe dont les rayons vecteurs sont $\frac{1}{R}$, on peut remplacer m^2, n^2, mn par $\frac{x^2}{x^2+y^2}$, $\frac{y^2}{x^2+y^2}$, $\frac{xy}{x^2+y^2}$ et $\frac{1}{R^2}$ par x^2+y^2; l'équation de la courbe est donc, comme on le voit aisément, du 2ᵉ degré, et c'est l'équation d'une ellipse, puisqu'elle est nécessairement fermée. Les axes de cette ellipse sont les sections principales du paquet de lames.

Si l'on construit une surface ayant pour rayons vecteurs les sommes des rayons vecteurs, correspondant à une même direction, des ellipsoïdes propres à chaque lame, cette surface admet comme sections planes les ellipses dont on vient de trouver l'équation. Cette surface est donc un ellipsoïde qui est l'ellipsoïde inverse du paquet de lames considéré.

En s'en tenant au cas presque universel d'une faible biréfringence dans les lames composantes, on peut donc dire que les lois de la biréfringence du paquet sont les mêmes que celles d'une portion infiniment petite d'un milieu cristallin homogène.

L'ellipsoïde inverse résultant qui régit les propriétés optiques du paquet peut d'ailleurs s'obtenir aisément de la façon suivante :

On construit, autour d'un même point comme centre, avec l'orientation qui correspond à celle des lames, les ellipsoïdes inverses de chacune des lames composantes en accroissant les rayons vecteurs de chacun d'eux dans le rapport de ε à dE. On porte sur chaque direction de l'espace, à partir du centre, une longueur égale à la somme des rayons vecteurs de chacun des ellipsoïdes qui coïncident avec cette même direction; le lieu des points ainsi obtenus est l'ellipsoïde inverse cherché.

Cas où le groupement des ellipsoïdes inverses possède des éléments de symétrie. — Lorsque toutes les lames cristallines sont de la même épaisseur et de la même substance, $\frac{\varepsilon}{dE}$ est le même pour toutes les lames et égal à $\frac{1}{n}$, si n est le nombre de celles-ci. Les ellipsoïdes composants sont alors les ellipsoïdes inverses de chaque lame, réduits dans le rapport $\frac{1}{n}$.

Si le groupement de ces ellipsoïdes admet un axe de symétrie d'ordre p ou un plan de symétrie, l'ellipsoïde résultant admet aussi ce plan de symétrie ou cet axe de symétrie d'ordre p.

Lorsque le groupement admet un axe de symétrie, les n ellipsoïdes ont, suivant cet axe, le même rayon vecteur dont la longueur, multipliée par n, est suivant la même direction celle du rayon vecteur de l'ellipsoïde résultant.

Supposons, par exemple, que le paquet considéré soit composé de deux lames, identiques entre elles, mais tournées de 180° l'une par rapport à l'autre. La normale commune est un axe de symétrie binaire du groupement, et par conséquent un axe de l'ellipsoïde résultant. Le plan des lames est aussi un plan de symétrie du groupement et de l'ellipsoïde résultant. Les deux ellipsoïdes composants ont, dans ce plan, une ellipse commune dont les axes sont deux axes de l'ellipsoïde résultant.

Si l'on a n lames, identiques entre elles, dont les sections principales de même nom sont croisées sous des angles de $\frac{2\pi}{n}$, la normale commune est un axe d'ordre n du groupement ; d'où l'on déduit sans peine que l'ellipsoïde résultant est de révolution autour de cet axe. La grandeur de cet axe est, comme on l'a vu, celle même du rayon vecteur de l'ellipsoïde inverse de l'une des lames qui est dirigé

suivant cet axe. Quant à la grandeur $\frac{1}{R}$ du rayon équatorial, il est donné par l'équation.

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{r'}+\frac{1}{r''}\right)+\frac{1}{2}\delta\sum\cos 2\beta,$$

En appelant $\frac{1}{r'}$ et $\frac{1}{r''}$ les axes de l'ellipse que le plan de l'une des lames détermine dans son ellipsoïde inverse. $\Sigma \cos 2\beta$ est nul, comme étant la somme des cosinus de n angles qui diffèrent entre eux de $\frac{4\pi}{n}$. Le rayon équatorial de de l'ellipsoïde résultant est donc la moyenne des deux axes de l'ellipse que le plan de l'une des lames détermine dans son ellipsoïde inverse.

Lorsque le groupement des ellipsoïdes composants admet plusieurs axes de symétrie d'ordre supérieur à 2, l'ellipsoïde résultant, qui doit les admettre aussi, est nécessairement une sphère. On réaliserait ce cas, par exemple, en découpant, dans un cristal uniaxe, des lames minces normales à une direction faisant avec l'axe principal l'angle que l'arête d'un cube fait avec la diagonale adjacente. En superposant trois lames semblables de manière que les sections principales fassent entre elles des angles de 120°, les trois axes principaux des ellipsoïdes de révolution composants seront groupés autour de la normale commune comme les arêtes du cube par rapport à une diagonale. Ces trois droites rectangulaires entre elles partageraient une sphère décrite du centre commun en huit triangles trirectangles dont les pôles seraient ceux d'un axe ternaire. L'ellipsoïde résultant admettant quatre axes ternaires serait une sphère.

Il peut arriver encore que l'ellipsoïde résultant soit une sphère, mais seulement, pour ainsi dire, par accident, et lorsque l'axe principal de cet ellipsoïde a la même

grandeur que celle du rayon équatorial. Dans ce cas, l'ellipsoïde n'est une sphère que pour une couleur de longueur d'onde déterminée.

Application de la théorie à la recherche des propriétés biréfringentes des mélanges de substances isomorphes. — Toute la théorie qui précède serait sans intérêt sérieux si elle ne pouvait s'appliquer qu'aux empilements de lames minces qu'on ne peut former qu'avec des substances d'un clivage exceptionnellement facile comme le gypse et surtout le mica. Cette théorie est importante, au contraire, car elle s'applique immédiatement :

1° Aux phénomènes optiques des cristaux qui sont formés par le mélange, en proportions variées, de diverses substances isomorphes;

2° Aux phénomènes optiques des cristaux formés par des groupements ou hémitropies moléculaires d'un même réseau cristallin.

Occupons-nous d'abord du 1er cas, celui d'un cristal formé par le mélange de nombres divers m_1, m_2, m_3, etc., de molécules de divers corps isomorphes. Il est clair que si ce mélange est homogène, et si chaque réseau cristallin garde son individualité propre, on pourra considérer le cristal composé comme ayant une nouvelle *molécule cristalline* composée de m_1, m_2... molécules de chaque corps composant. Chaque nouvelle molécule se comportera comme si elle était un paquet composé de m_1, m_2, m_3... lames cristallines de même épaisseur et de même orientation cristallographique mais appartenant à chacun des corps composants. Si nous admettons, comme cela a lieu généralement dans les corps d'un isomorphisme parfait, que les volumes moléculaires des substances isomorphes sont sensiblement égaux, on voit que les nombres m_1, m_2, m_3... sont proportionnels aux épaisseurs totales des lames de chacun des composants.

Pour trouver l'ellipsoïde inverse résultant du cristal composé, on n'aura donc qu'à suivre les règles précédemment énoncées pour les piles de lames en remplaçant partout le rapport $\frac{\epsilon_p}{dE}$ par le rapport $\frac{m_p}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$.

Dans le cas où les substances isomorphes mélangées appartiennent au système rhombique et où, par conséquent, les axes d'élasticité optique de toutes ces substances ont la même direction, on sait que chacun des axes de l'ellipsoïde inverse est la somme des axes des ellipsoïdes composants accrus dans le rapport $\frac{m_p}{\Sigma m}$. Cette règle a été déjà énoncée par M. Dufet en partant d'une hypothèse particulière, et il en a vérifié l'exactitude par des observations d'une haute précision.

En appliquant la même formule (ou ce qui revient au même, une formule qui donne les mêmes résultats pratiques), aux nombreuses observations de M. Wyrouboff sur des mélanges de sulfate de potasse et de sulfate d'ammoniaque, de sulfate de potasse et de chromate de potasse, j'ai également constaté qu'elle est complètement d'accord avec les faits.

Il est donc établi expérimentalement que lorsque plusieurs substances isomorphes se mélangent dans un même cristal, chacune des substances garde son individualité physique, au moins en négligeant les anomalies d'ordre secondaire dont l'existence possible et même vraisemblable n'a d'ailleurs pas encore été constatée d'une façon précise.

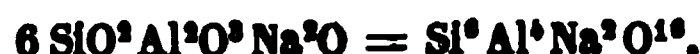
Ce résultat, fort important en lui-même, donne à la théorie qui précède un intérêt tout particulier. On hésite assez souvent, surtout en minéralogie, sur le point de savoir si telle substance cristallisée complexe est une combinaison chimique ou un simple mélange de substances isomorphes. L'étude des propriétés optiques permettra de décider la question avec une certitude presque entière. La

substance sera un simple mélange si les propriétés optiques biréfringentes peuvent, au moyen des règles qu'on vient d'établir, se déduire de celles des corps dont on la suppose formée.

Application à la recherche de la nature des différents feldspaths tricliniques. — On peut faire une application intéressante aux feldspaths tricliniques à base de chaux ou de soude.

On sait que les minéralogistes sont divisés, touchant la manière dont on doit considérer les espèces feldspathiques qui font partie d'une série dont les termes extrêmes sont l'albite et l'anorthite.

La formule de l'albite est :



$$6\,SiO^2Al^2O^3Na^2O = Si^6Al^4Na^2O^{16},$$

Celle de l'anorthite doublée est :



$$4SiO^2\,2Al^2O^3\,2CaO = Si^4Al^4Ca^2O^{16}.$$

Ainsi écrites, ces formules ont presque les mêmes volumes moléculaires :

Albite	199.6
Anorthite	202.8

On sait d'ailleurs que leur forme cristalline est extrêmement voisine l'une de l'autre et que tous les feldspaths intermédiaires ont des formes cristallines intermédiaires entre celles de l'albite et de l'anorthite. M. Tschermak a enfin fait remarquer depuis longtemps que la composition de ces feldspaths peut être correctement représentée par une formule de la forme

$$m_1\,Ab + m_2\,An,$$

Ab étant une molécule d'albite et *An* une molécule d'anorthite. Le savant professeur de Vienne a conclu de ces faits

que les feldspaths intermédiaires ne sont que des mélanges isomorphes d'albite et d'anorthite.

Les phénomènes optiques et la théorie qui vient d'être exposée permettent d'éclairer la question. M. Max Schuster, en réunissant les nombreuses observations de M. Des Cloizeaux et les siennes propres, a montré que si l'on observe, pour toute la série de ces feldspaths, les directions d'extinction suivant les faces p et les faces g^1, et les angles qu'elles font avec l'arête pg^1, ces angles forment, pour chaque face, une série continue depuis l'albite jusqu'à l'anorthite. Il a pu représenter d'une manière satisfaisante toutes les observations relatives aux extinctions sur la face p, par exemple, au moyen d'une formule empirique de la forme

$$\beta = f\left(\frac{m_1}{m_2}\right),$$

β étant l'angle de la direction d'extinction avec l'arête pg^1, $\frac{m_1}{m_2}$ étant le rapport du nombre des molécules d'albite au nombre des molécules d'anorthite qui entrent dans la composition du feldspath.

On peut, en utilisant la théorie qui a été exposée ci-dessus, remplacer cette formule empirique par une formule rationnelle. L'équation $\Sigma\,\delta \sin 2\gamma = 0$, donne, en effet, dans ce cas,

$$m_1\delta_1 \sin 2\gamma_1 + m_2\delta_2 \sin 2\gamma_2 = 0.$$

γ_1 et γ_2 étant respectivement les angles de la direction d'extinction d'un feldspath intermédiaire avec la direction d'extinction de l'albite et celle de l'anorthite. On a d'ailleurs $\gamma_2 = \gamma_1 + i$, i étant l'angle que fait la direction d'extinction de l'anorthite avec celle de l'albite. On tire de là :

$$\cot 2\gamma_1 = -\frac{m_1}{m_2}\frac{\delta_1}{\delta_2} \operatorname{cos\acute{e}c} 2i - \cot 2i.$$

Si l'on trace une courbe ayant pour ordonnées les valeurs de cotg $2\gamma_1$ et pour abscisses celles de $\frac{m_1}{m_2}$, cette courbe doit être une droite.

Or j'ai montré dans une autre publication (*) qu'il en est réellement ainsi, et que, soit pour les extinctions sur les faces p, soit pour celles relatives aux faces g^1, les formules empiriques de M. Schuster se laissent représenter par des droites, avec une exactitude qui est du même ordre que celle des observations.

Il est donc au moins très vraisemblable que, conformément à la théorie de Tschermak, les feldspaths intermédiaires sont véritablement de simples mélanges de deux feldspaths isomorphes, l'albite et l'anorthite.

Application aux cristaux formés par des groupements moléculaires. — J'ai montré jadis, dans ces Annales, que les corps cristallisés, fort nombreux, qui possèdent une forme limite, présentent des particularités fort remarquables.

On dit qu'une substance cristalline possède une forme limite, lorsque la maille parallélipipédique de son réseau cristallin (ou ce qu'Haüy appelait la molécule intégrante du cristal) possède, ou à peu près (car ici comme pour l'isomorphisme l'à peu près suffit) une forme dont la symétrie géométrique est plus parfaite que la symétrie physique. C'est ainsi qu'une maille formée par un prisme carré est une forme limite si les 4 faces latérales du prisme, bien qu'égales géométriquement, ne le sont pas au point de vue physique.

J'ai montré que les mailles ainsi constituées tendent d'une manière constante à se grouper entre elles de manière que le groupement possède justement la symétrie

(*) *Bulletin de la Soc. min.*, t. III.

que les propriétés géométriques accordent à la maille élémentaire et que les propriétés physiques lui refusent.

J'ai cru pouvoir ainsi, en m'appuyant sur les faits que j'ai constatés dans un grand nombre de substances et qui deviennent chaque jour plus nombreux, donner une explication du dimorphisme. Il est clair, en effet, qu'une même substance à forme limite est susceptible, sous l'influence des circonstances qui président à la cristallisation et dont la nature nous échappe encore, de revêtir une forme dissymétrique lorsque les mailles du réseau ne se groupent pas ; une forme symétrique, au contraire, lorsque le groupement moléculaire s'est produit.

J'ai cherché à démontrer l'exactitude de ces vues théoriques en faisant voir que dans certaines substances, telles que le grenat, on trouve tous les passages depuis le cas dans lequel le réseau dissymétrique élémentaire garde sa forme, jusqu'à celui où des groupements multiples de ce même réseau produisent un nouveau réseau composé qui possède exactement la symétrie cubique.

Mais la théorie exposée dans ce travail permet de pousser la démonstration plus loin. Supposons en effet qu'une même substance possède deux formes incompatibles, l'une symétrique et l'autre dissymétrique. Si mes idées sur le dimorphisme sont exactes, la molécule cristalline de la première forme peut être regardée comme formée par le groupement, autour de certains axes de symétrie, de molécules identiques à celles de la seconde forme (*). Comme il est permis d'assimiler les molécules à des lames cristallines très minces, les propriétés optiques de la forme symétrique devront donc pouvoir se déduire de celles de

(*) A moins cependant que les deux formes ne dérivent, par groupements, d'une autre forme plus dissymétrique encore. Je laisse ce cas de côté, n'ayant pas à examiner ici d'une façon complète un sujet que je n'aborde qu'incidemment.

la forme dissymétrique grâce aux règles très simples qui ont été indiquées plus haut.

Depuis les beaux travaux de M. Des Cloizeaux sur les feldspaths on sait que le feldspath à base de potasse



$$6\,SiO^2,\ Al^2O^3K^2O,$$

peut se présenter sous deux formes cristallines extrêmement voisines l'une de l'autre, mais dont l'une, l'orthose, a la symétrie clinorhombique, et l'autre, le microcline, montre l'absence de symétrie du système triclinique. M. Des Cloizeaux a constaté d'ailleurs que le microcline présente presque toujours des groupements multiples, non moléculaires, qui sont précisément ceux qui devraient se faire entre les molécules pour que la molécule résultante eût la symétrie clinorhombique.

J'ai montré, d'un autre côté, que l'orthose présente toujours des indices de groupements analogues à ceux du microcline, et j'en ai conclu, dans le mémoire déjà cité, que, d'accord avec la théorie que j'y proposais, l'orthose ne diffère du microcline qu'en ce que les groupements qui s'accomplissent dans cette dernière espèce entre des parties finies, quoique assez petites, du réseau cristallin, se produisent, dans l'orthose, entre des portions du réseau dont les dimensions sont comparables à celles de la maille réticulaire.

M. Michel Lévy a confirmé cette déduction en montrant qu'elle est conforme à la relation qui existe entre les propriétés biréfringentes du microcline et celles de l'orthose. Notre théorie nous permet de présenter la démonstration de M. Lévy sous une forme plus simple et plus exempte d'hypothèses.

Les molécules de microcline formeront une molécule composée douée de la symétrie binaire de l'orthose, si deux molécules se groupent de manière que l'une d'elles, supposée d'abord orientée comme la première, puisse être sup-

posée avoir tourné de 180° autour d'une droite, normale aux faces g^1, qui est *presque* un axe de symétrie du microcline.

Pour obtenir l'ellipsoïde inverse de l'orthose, il faut ainsi, si l'hypothèse est vraie, composer deux ellipsoïdes, identiques entre eux et à celui du microcline, symétriquement placés par rapport au plan g^1 qui leur est commun. Les deux axes de l'ellipsoïde de l'orthose situées dans le plan g^1 doivent donc avoir les mêmes directions que celles des sections principales du microcline dans ce même plan. C'est ce que l'observation confirme en effet de la façon la plus complète. Dans le microcline l'une des directions d'extinction menée à partir de l'angle solide obtus o, fait, dans l'angle obtus des arêtes pg^1 et hg^1, un angle de 5 à 6° avec l'arête pg^1. Dans l'orthose l'axe d'élasticité a, situé dans le plan g^1, et mené, à partirde l'angle obtus o, dans l'angle obtus des arêtes pg^1 et hg^1, fait avec pg^1 un angle égal à 5° 18′ (Des Cl.).

Généralisation des lois de Fresnel. — Milieux atomiques. — On peut considérer la théorie précédente à un point de vue plus général. La théorie de la double réfraction, telle qu'elle est due au génie de Fresnel, suppose un milieu homogène, c'est-à-dire ayant la même nature en tous les points d'une droite quelconque. Cette hypothèse admise, la démonstration de Fresnel peut être regardé comme rigoureuse ou plutôt comme à peu près rigoureuse, pour les milieux peu biréfringents où la composante de la force élastique normale à la vibration peut être regardée comme négligeable.

Mais les corps de la nature ne présentent pas la structure que l'exactitude de la théorie réclame. Nous savons d'une manière absolument certaine qu'ils sont composés par la juxtaposition de molécules identiques entre elles. Ces molécules ont toutes la même orientation dans les cristaux, et

leurs centres de gravité immmobiles y forment les nœuds d'un système réticulaire à mailles parallélipipédiques.

Ces molécules ont au contraire toutes les orientations possibles, dans les solides amorphes où elles sont immobiles, dans les liquides où elles tournent autour de leurs centres de gravité et dans les gaz où ces centres de gravité sont en outre animés d'un mouvement de translation.

Ces molécules elles-mêmes sont d'ailleurs composées d'atomes, animés de mouvements vibratoires, mais dont les positions mutuelles restent fixes.

Un corps quelconque est donc composé par la juxtaposition d'un nombre très considérable de milieux, identiques entre eux, mais dont l'intérieur est essentiellement hétérogène. L'homogénéité d'un milieu matériel est donc en quelque sorte périodique, c'est-à-dire que, suivant une même direction, le milieu ne redevient identique que pour certains points équidistants très rapprochés, entre lesquels se montre une hétérogénéité d'une certaine nature qui se répète toujours périodiquement identique à elle-même.

Ce milieu hétérogène qu'on appelle la molécule renferme incontestablement des atomes vibrant dans l'éther. La position de ces atomes ou plutôt de leurs centres moyens de vibration est invariable dans la molécule, car autrement on ne pourrait plus distinguer dans celle-ci ni orientation ni symétrie, ce qui est absolument contraire aux résultats les plus certains de la cristallographie. Nous pouvons donc supposer la molécule partagée en un certain nombre de zones (qui pourront d'ailleurs s'enchevêtrer plus ou moins l'une dans l'autre), et dont chacune comprendra un atome vibrant. Chacune de ces zones est ce que nous nommerons *un milieu atomique*.

Nous ignorons sans doute profondément ce qu'est un semblable milieu, mais il est hors de doute qu'il est susceptible de transmettre la lumière, et que les lois de transmission de la lumière à travers cette juxtaposition de mi-

lieux semblables qui compose une molécule donnent comme résultantes les lois que Fresnel a assignées à la biréfringence cristalline.

Nous pouvons admettre comme *hypothèse* que chaque milieu atomique est un milieu biréfringent soumis aux lois ordinaires de la double réfraction. Il est évident que cette hypothèse sera justifiée, sans que l'exactitude en soit rigoureusement démontrée, si nous parvenons à faire voir qu'elle rend compte de tous les phénomènes de la double réfraction, de la polarisation rotatoire, etc. Cette démonstration est l'un des buts principaux de ce travail.

La molécule ainsi composée par la juxtaposition d'un nombre plus ou moins grand de milieux biréfringents homogènes ne peut pas être assimilée à un empilement de lames cristallines semblables à celui que nous avons considéré, et qui exige des lames d'épaisseurs uniformes dont les surfaces sont toutes parallèles entres elles. Mais on peut toujours décomposer la molécule en une série de faisceaux cylindriques infiniment étroits et de même section, à chacun desquels on pourra attribuer la structure de nos piles. Si l'on suppose un faisceau lumineux tombant sur la molécule et assez large pour embrasser cette molécule entière, chacun des petits cylindres entre lesquels nous avons décomposé la molécule, et dont l'axe peut être toujours supposé parallèle à la direction de propagation, produira un effet différent sur la vibration émergente. L'effet moyen produit sur l'ensemble des faisceaux émergents pourra être obtenu en supposant que les petits faisceaux cylindriques, au lieu d'être accolés latéralement, sont superposés suivant la direction de propagation. Si l'on décompose la molécule en p faisceaux, la hauteur totale des faisceaux superposés est pdE, et si ε est l'épaisseur d'un des milieux atomiques dans un faisceau, il faudra que l'ellipsoïde composant qui lui correspond ait ses rayons vecteurs

accrus donc le rapport $\frac{\varepsilon}{pd\mathrm{E}}$. Si l'on ajoute les rayons vecteurs des ellipsoïdes composants qui se rapportent à un même milieu, on voit que l'un des ellipsoïdes composants pourra être considéré comme étant celui du milieu considéré dont les rayons vecteurs ont été accrus dans le rapport $\frac{\Sigma\varepsilon}{pd\mathrm{E}}$ ou $\frac{\varepsilon_m}{pd\mathrm{E}}$, ε_m étant l'épaisseur moyenne du milieu suivant la direction considérée.

La théorie précédente est donc une généralisation de la théorie de Fresnel puisqu'elle montre que dans un milieu cristallin à structure périodique on retrouve les lois ordinaires de la biréfringence, en supposant que le milieu biréfringent homogène est le milieu atomique, et en se plaçant dans l'hypothèse de milieux peu biréfringents, c'est-à-dire dans l'ordre même d'approximation où la théorie de Fresnel peut être regardée comme rigoureusement démontrée.

CHAPITRE III.

ROTATION DU GRAND AXE DE L'ELLIPSE VIBRATOIRE.

THÉORIE DE LA POLARISATION ROTATOIRE.

---

§ 1. Cas d'une pile formée d'un nombre quelconque de paquets identiques de lames cristallines.

Rotation en raison inverse du carré de la longueur d'onde. — Dans le chapitre précédent nous avons admis que ω pouvait être négligé; il faut main-

tenant examiner le cas ou ω prend une valeur qui, bien que toujours petite d'après nos conventions, n'est cependant pas négligeable.

Nous commencerons par deux remarques fort importantes ; la première, c'est que l'expression de $d\omega_p$ contenant u_p et u_{p-1}, c'est-à dire les valeurs qu'a acquises u après la traversée de la p^e et de la $(p-1)^e$ lame, la valeur de ω dépend, non seulement de la nature des lames composantes, mais encore de l'ordre dans lequel elles sont empilées.

La seconde, c'est que dans l'expression de $d\omega_p$, λ étant explicitement en dénominateur, et se trouvant aussi en dénominateur dans les valeurs de u_p et u_{p-1}, puisqu'il est en dénominateur dans du_p, $d\omega_p$ contient au dénominateur le carré λ^2. On en conclut que $d\omega_p$, et par conséquent la rotation totale ω, après la traversée d'un nombre quelconque de lames, serait rigoureusement en raison inverse du carré de la longueur d'onde λ, si, en vertu de la dispersion cristalline, les quantités telles que δ_p ne dépendaient elles-mêmes, quoiqu'en général d'une façon tout à fait secondaire, de la longueur λ. Nous pouvons donc énoncer cette règle générale : *La rotation du grand axe de l'ellipse vibratoire est en raison inverse du carré de la longueur d'onde, réserves faites des anomalies que peut produire la dispersion cristalline des lames qui composent la pile.*

Expressions de U et de Ω. — Passons maintenant au calcul, pour une pile donnée, des valeurs de u et de ω.

Le seul cas que nous examinerons, parce que c'est le seul qui soit intéressant, est celui où l'on a une pile de hauteur finie, formée par l'accumulation d'un nombre très grand de paquets extrêmement petits, tous identiques entre eux et orientés de la même façon ; chacun d'eux étant formé par l'empilement d'un nombre fini, mais quelconque, de lames cristallines.

Nous supposerons que la vibration rectiligne incidente

est dirigée suivant l'une des sections principales qu'aurait la pile, d'après le chapitre précédent, si l'on négligeait ω.

Nous considérerons cette vibration au moment où, après avoir parcouru une longueur E, elle tombe sur un des paquets qui composent la pile. A ce moment u et ω ont pris des valeurs finies U et Ω. Nous appelons $d\mathrm{U}$ et $d\Omega$ les variations très petites que produira dans U et Ω la traversée du paquet considéré. En remarquant que l'on peut négliger, par rapport à β_p les variations très petites subies par Ω pendant cette traversée, on pourra écrire :

$$d\mathrm{U} = -\frac{\pi}{\lambda}\sum \varepsilon_p \delta_p \sin 2(\beta_p - \Omega)$$

$$d\Omega = -\frac{\pi}{\lambda}\sum \varepsilon_p \delta_p \left(\mathrm{U} + \frac{u_{p-1} + u_p}{2}\right) \cos 2(\beta_p - \Omega).$$

Nous désignons toujours par u_{p-1} et u_p les valeurs très petites que prend l'accroissement de U au sortir de la $(p-1)^e$ et de la p^e lame du paquet.

Occupons-nous d'abord de l'expression de $d\mathrm{U}$; en développant chaque terme, nous obtiendrons

$$d\mathrm{U} = -\frac{\pi}{\lambda}\cos 2\Omega \sum \varepsilon_p \delta_p \sin 2\beta_p + \frac{\pi}{\lambda}\sin 2\Omega \sum \varepsilon_p \delta_p \cos 2\beta_p,$$

$\Sigma \varepsilon_p \delta_p \sin 2\beta_p$ est égal à zéro puisque la vibration incidente est dirigée suivant la section principale. Quant à $\Sigma \varepsilon_p \delta_p \cos 2\beta_p$, c'est, par la même raison, la différence de retard correspondant à la traversée de la molécule par les deux vibrations dirigées suivant les deux sections principales. Si l'on appelle Δ la différence des phases acquises par les deux vibrations après la traversée d'une épaisseur de cristal égale à 1, on aura donc, $d\mathrm{E}$ étant l'épaisseur de la molécule

$$\Delta d\mathrm{E} = \frac{2\pi}{\lambda}\sum \varepsilon_p \delta_p \cos 2\beta_p.$$

Si l'on suppose Ω toujours assez petit pour qu'on en puisse

négliger le cube, on peut remplacer sin 2Ω par 2Ω, il vient en définitive

$$dU = \Omega\Delta\, dE.$$

Passons maintenant à l'expression de $d\Omega$; en la développant on la met sous la forme

$$d\Omega = -\frac{2\pi}{\lambda} U\left(\cos 2\Omega \sum \varepsilon_p \delta_p \cos 2\beta_p + \sin 2\Omega \sum \varepsilon_p \delta_p \sin 2\beta_p\right)$$
$$-\frac{2\pi}{\lambda}\left(\cos 2\Omega \sum \varepsilon_p \delta_p \cos 2\beta_p \frac{u_{p-1}+u_p}{2} + \sin 2\Omega \sum \varepsilon_p \delta_p \sin 2\beta_p \frac{u_{p-1}+u_p}{2}\right).$$

Dans le premier terme de cette expression, on peut remplacer cos 2Ω par 1, car on néglige ainsi des termes en $U\Omega^2$ qui sont de l'ordre de Ω^3, et que nous sommes convenus de regarder comme sans influence. En remarquant comme ci-dessus que $\Sigma\varepsilon_p\delta_p \sin 2\beta_p = 0$ et $\Delta dE = \frac{2\pi}{\lambda}\Sigma\varepsilon_p\delta_p \cos 2\beta_p$, le premier terme de l'expression se réduit donc à $-U\Delta dE$.

Quant au deuxième terme qui est de l'ordre du carré de ε, nous pourrons y supposer $\sin 2\Omega = 0$ et $\cos 2\Omega = 1$, ce qui le réduit à

$$-\frac{2\pi}{\lambda} \sum \varepsilon_p \delta_p \cos 2\beta_p \frac{u_{p-1}+u_p}{2}.$$

Cette quantité est la même pour chaque paquet. On peut d'ailleurs y mettre en facteur commun dE, ce qui donnera

$$-dE \frac{2\pi}{\lambda} \sum \frac{\varepsilon_p}{dE} \delta_p \cos 2\beta_p \frac{u_{p-1}+u_p}{2},$$

et, en posant

$$r = -\frac{2\pi}{\lambda} \sum \frac{\varepsilon_p}{dE} \delta_p \cos 2\beta_p \frac{u_{p-1}+u_p}{2},$$

l'expression de $d\Omega$ devient en définitive

$$d\Omega = -U\Delta dE + r dE.$$

Il faut remarquer que r est de l'ordre de grandeur de u_{p-1} et u_p, c'est-à-dire de celui de l'épaisseur des lames ε.

Nous avons donc deux équations simultanées

$$dU = \Omega\Delta\, dE$$
$$d\Omega = -U\Delta\, dE + r\, dE.$$

qu'il s'agit d'intégrer.

En éliminant dE, il vient

$$dU\,(r - U\Delta) = \Delta\Omega\, d\Omega\,;$$

et, en intégrant

$$rU - \frac{U^2}{2}\Delta = \Delta\frac{\Omega^2}{2},$$

la constante étant nulle, puisqu'on a $U = 0$ pour $\Omega = 0$.

On tire de cette équation

$$U = \frac{r}{\Delta} \pm \sqrt{\frac{r^2}{\Delta^2} - \Omega^2}.$$

Portant cette valeur de U dans l'expression de $d\Omega$, il vient

$$d\Omega = \pm\,\Delta\, dE\,\sqrt{\frac{r^2}{\Delta^2} - \Omega^2}$$

ou

$$\Delta dE = \pm\frac{\Delta}{r}\,\frac{d\Omega}{\sqrt{1 - \frac{\Delta^2}{r^2}\Omega^2}}.$$

L'intégration donne

$$\Delta E = \arcsin\frac{\Delta}{r}\Omega,$$

la constante étant encore nulle puisque $\Omega = 0$ pour $E = 0$. On obtient ainsi

$$\Omega = \pm\, rE\,\frac{\sin\Delta E}{\Delta E}.$$

Lorsque $\Delta = 0$, l'expression de $d\Omega$ se réduit à $d\Omega = r dE$, ce qui donne $\Omega = rE$; or lorsque $\Delta = 0$, l'expression précédente donne $\Omega = \pm rE$; il faut donc choisir le signe $+$.

Portant cette valeur de Ω dans l'expression de dU, on obtient

$$dU = r \sin \Delta E \cdot dE,$$

d'où, en intégrant,

$$U = -\frac{r}{\Delta} \cos \Delta E + C.$$

On doit avoir $U = 0$ pour $E = 0$, ce qui donne $C = \frac{r}{\Delta}$ et par conséquent

$$U = \frac{r}{\Delta}\left(1 - \cos \Delta E\right) = 2\frac{r}{\Delta} \sin^2 \frac{E}{\Delta}.$$

Les expressions définitives de U et de Ω se mettent donc sous la forme

$$\Omega = rE \frac{\sin E\Delta}{E\Delta}$$

$$U = rE \frac{\sin^2 \frac{1}{2} E\Delta}{\frac{1}{2} E\Delta},$$

expressions obtenues, il faut se le rappeler, en négligeant les quantités de l'ordre de Ω^3 et U^3.

Recherche de la valeur de *r*. — Pour pouvoir calculer U et Ω suivant une direction quelconque de propagation, et pour une épaisseur donnée de la pile, il suffit de connaître r, puisque nous avons appris, dans le chapitre précédent, à connaître Δ.

Or nous avons vu que pour un paquet,

$$r = \sum \frac{2\pi}{\lambda} \delta_p \frac{\varepsilon_p}{dE} \cos 2\beta_p \frac{u_{p-1} + u_p}{2}.$$

Menons à partir de O une droite représentant la direction de la vibration, et une ligne polygonale telle que le p^e côté ait pour longueur $\frac{2\pi}{\lambda} \frac{\varepsilon_p}{dE} \delta_p$ et fasse avec la direction de la vibration l'angle $2\beta_p$; cette ligne polygonale sera, au

facteur $\frac{2\pi}{\lambda}$ près, celle qui est représentée *fig.* 2. Cette ligne polygonale, on l'a vu, est telle que sa projection sur la direction de la vibration représente $\frac{\lambda}{2\pi}\Delta$, tandis que la ligne projetante est égale à $\frac{\lambda}{\pi} dU$.

La ligne polygonale $O12\ldots n$ vient se terminer en un point de la direction de la vibration puisque, la vibration étant dirigée suivant l'une des sections principales du paquet on a $u_p = 0$.

Le terme général de la somme qui exprime r représente en signe contraire l'aire du trapèze qui a pour bases les lignes u_{p-1} et u_p projetant sur la direction de la vibration les extrémités du p^e côté ; la hauteur de ce trapèze étant la projection du côté, c'est-à-dire $\frac{2\pi}{\lambda}\delta_p \frac{\varepsilon_p}{dE} \cos 2\beta_p$.

On en déduit donc immédiatement que r est égal en grandeur absolue à l'aire du polygone formée par la ligne polygonale et la direction de la vibration. Cette surface s étant considérée comme positive ou négative suivant les lignes de la hauteur et de la base des trapèzes générateurs, on aura d'une manière tout à fait générale

$$r = -s.$$

Si la vibration, au lieu d'être dirigée suivant la section principale considérée, l'est suivant la section perpendiculaire, la direction positive de la vibration changera de signe en même temps que celui de tous les δ, la surface s, ainsi que r, gardera le même signe et la même valeur absolue. Les grands axes des deux ellipses vibratoires issues des deux vibrations principales restent donc perpendiculaires l'une sur l'autre.

Si la vibration n'est pas dirigée suivant la section principale du paquet, la surface s est limitée par la vibration,

la ligne polygonale, et la ligne qui projette celle-ci sur la vibration. Elle est donc égale à la surface S, obtenue dans le cas de la vibration dirigée suivant la section principale, augmentée de l'aire d'un triangle qui a pour base la projection sur la vibration de la ligne polygonale et pour hauteur la ligne projetante. La valeur de r prise en signe contraire est donc en général égale à une surface constante S augmentée d'une surface σ qui varie avec l'azimuth de la vibration et a pour valeur $\frac{1}{2}\Delta^2\overline{dE}^2 \cos 2\beta' \sin 2\beta'$ ou $\frac{1}{4}\Delta^2\overline{dE}^2 \sin 4\beta'$, β' étant l'angle de la vibration avec la section principale du paquet (*fig.* 2). Si l'on suppose que la direction de la vibration prenne succesivement toutes les valeurs possibles, la moyenne de toutes les surfaces σ est nulle, la moyenne des valeurs de s est donc S.

Si la direction de propagation est dirigée suivant l'un des axes optiques du paquet, la ligne polygonale est fermée, la surface de ce polygone fermé est égale à S, et σ est toujours nul. La valeur de r est donc indépendante de l'azimuth de la vibration.

Si l'on suppose que, toutes choses restant identiques, on se borne à changer le sens de l'empilement, toutes les bases des trapèzes changent de signes, quand les hauteurs conservent le leur ; la surface S reste donc la même en valeur absolue, mais change de signe. On en déduit que lorsque le paquet n'a, suivant une direction quelconque, ni droite ni gauche, S est constamment nul. La valeur de r, dans des piles composées de semblables paquets est donc nulle, pour toute vibration, suivant un axe optique ; nulle aussi suivant toute autre direction, pour les deux vibrations principales.

Une remarque fort importante, c'est que r, contenant en facteurs des quantités telles que $\frac{u_{p-1} + u_p}{2}$, et par con-

séquent telles que $\varepsilon_p \delta_p$, est de l'ordre de grandeur de $\varepsilon_p \delta_p$. La valeur de r ne sera donc finie que lorsque les quantités $\varepsilon_p \delta_p$ ne seront pas infiniment petites. Dans un milieu où les épaisseurs ε des lames successives pourraient être considérées comme infiniment petites, il n'y aurait pas de polarisation rotatoire.

Revenons maintenant aux valeurs de Ω et de U. La grandeur de rE n'est jamais très considérable, si E n'est pas très grand, puisque r est toujours petit. D'ailleurs dès que E devient notable, EΔ devient grand, si Δ n'est pas nul, et égal à un grand nombre de fois π ; Ω ne pourra donc avoir une valeur notable que pour des directions de propagation coïncidant avec celle d'un axe optique ou peu éloignées de celle-là.

Lorsque la direction de propagation coïncide avec un axe optique, $\Delta = 0$, $\frac{\sin E\Delta}{E\Delta} = 1$, et $\Omega = rE$.

§ 2. Corps formés par des molécules simples. — Polarisation rotatoire moléculaire.

Cristaux formés par des molécules simples.— La théorie qui précède peut être appliquée à deux cas très distincts. Le premier est celui des cristaux ordinaires formés par l'empilement bien connu de molécules parallèlipipédiques. Suivant l'hypothèse développée à la fin du chapitre précédent, considérons une de ces molécules comme formée par un certain groupement, quelconque d'ailleurs, de milieux homogènes biréfringents.

Décomposons, comme on l'a fait aussi plus haut, cette molécule en p cylindres très minces, parallèles à la direction de propagation considérée et dont chacun pourrait être considéré comme un paquet de lames cristallines. L'effet produit, sur le faisceau lumineux, par l'ensemble de tous ces paquets infiniment minces s'obtiendra en composant

toutes les ellipses vibratoires issues de chacun d'eux. La vibration du grand axe de l'ellipse vibratoire résultante dont les éléments ont été déterminés dans le chapitre précédent, sera la somme algébrique, divisée par p, des rotations produites par chaque paquet. La valeur de r pour chaque cylindre se décompose en deux parties S et σ. On aura donc pour la valeur totale.

$$-r = \frac{\Sigma S}{p} + \frac{\Sigma\sigma}{p},$$

Comme $\Sigma\sigma$ dépend, en général, de l'azimuth de la vibration, il en sera de même de r.

Mais il est inutile de continuer cette discussion, car il est aisé de voir que r est toujours extrêmement petit et, par conséquent, rE toujours négligeable. En effet r est, comme on l'a vu, de l'ordre de grandeur de ε. Or ε est ici de l'ordre de grandeur des dimensions du milieu atomique, c'est-à-dire plus petit que toute autre dimension matérielle connue. L'épaisseur des cristaux dont on dispose étant d'ailleurs toujours très limitée, on s'explique qu'on n'ait jamais réussi à constater aucun phénomène rotatoire avec les cristaux à molécules dissymétriques lorsque ces cristaux sont formés par l'empilement régulier de ces molécules.

Polarisation rotatoire moléculaire des liquides et des dissolutions. — Il en est autrement lorsque les molécules dissymétriques, ayant une droite et une gauche, forment un liquide où elles se présentent orientées dans tous les sens, ou bien sont dissoutes dans un liquide où elles prennent également toutes les orientations possibles. Dans ce cas, en effet, on peut augmenter, en quelque sorte à volonté, l'épaisseur de la colonne liquide et, par conséquent, le nombre des molécules traversées par la vibration.

Si la vibration qui tombe sur le liquide est rectiligne, elle reste rectiligne à l'émergence, car il est clair que les orientations de u, dépendant de l'azimuth de la vibration, s'annulent par la traversée de molécules tournées dans tous les sens. Quant à la rotation de la vibration, si les molécules ont une droite et une gauche, chacune d'elles, traversée suivant une certaine direction, imprime à la vibration une rotation d'un certain sens, dont une partie $-S_1 dE$, indépendante de l'azimuth de la vibration, ne varie pas avec le changement d'orientation de la molécule autour de la direction considérée, tandis qu'une autre partie $-\sigma dE$ dépend de cette orientation. Les molécules traversées suivant la direction considérée présentent toutes les orientations possibles autour de cette direction, la moyenne des σ est nulle, comme il a été dit plus haut, et les choses se passent comme si chacune de ces molécules imprimait une rotation égale à $-S_1 dE$. Pour le groupe de molécules traversées suivant une autre direction, la rotation opérée par chacune d'elles est $-S_2 dE$, etc. Enfin si l'on appelle S_m une certaine valeur moyenne entre toutes les valeurs S_1, S_2, etc., les choses se passeront comme si chaque molécule du liquide imprimait une rotation égale à $-S_m dE$, et la rotation totale à l'émergence sera $-NS_m dE$, N étant le nombre des molécules traversées par le faisceau lumineux supposé linéaire.

La rotation est donc proportionnelle au nombre des molécules traversées ; elle est d'ailleurs, comme toujours, en raison inverse du carré de la longueur d'onde, réserves faites des anomalies dues à la dispersion ; enfin elle ne se produit, comme on l'a vu, que lorsqu'on peut distinguer dans la molécule une droite et une gauche.

On retrouve donc ainsi toutes les lois de la polarisation rotatoire moléculaire.

§ 3. Cristaux formés par des molécules groupées ensemble suivant une certaine loi.

Polarisation rotatoire dans les cristaux formés de groupements moléculaires. — Si les cristaux formés de molécules à groupements atomiques ne donnent point de phénomènes de polarisation rotatoire à cause de la petitesse des dimensions des milieux atomiques, il en sera autrement pour les cristaux dans lesquels la portion de la matière pondérable qui se répète périodiquement est formée par des groupements moléculaires, ou des groupements formés entre des éléments dont l'ordre de grandeur est celui de la molécule.

J'ai donné, dans un mémoire publié dans ces Annales (*), la théorie de ces groupements. J'ai montré qu'ils tendent toujours à se former dans les cristaux à formes limites, c'est-à-dire dans les cristaux qui, sans admettre rigoureusement un ou plusieurs éléments de symétrie, les admettent à peu près et qu'ils ne se forment jamais que dans ces cristaux. J'ai fait voir que le groupement moléculaire a toujours pour résultat de donner rigoureusement au groupement un ou plusieurs des éléments de symétrie que la molécule ne possède qu'à peu près.

Dans les groupements moléculaires qui peuvent se rencontrer dans les cristaux, il y a toujours au moins un axe de symétrie. Si cet axe de symétrie est binaire, le groupement ne communique au cristal aucun pouvoir rotatoire, puisque le polygone de la rotation, pour une direction de propagation dirigée suivant l'axe optique, a une surface nulle.

Les phénomènes de polarisation rotatoire ne peuvent ainsi se produire que dans les cristaux à groupements moléculaires, et seulement dans ceux de ces cristaux auxquels le

(*) *Annales des mines*, 7e série, t. X, 1876.

groupement communique un ou plusieurs axes de symétrie multiple. Il n'y aura donc de pouvoir rotatoire que dans les cristaux uniaxes ou uniréfringents, comme l'observation l'a depuis longtemps montré.

Pour que le groupement moléculaire soit accompagné de la polarisation rotatoire, il faut d'ailleurs qu'on puisse y distinguer une droite et une gauche, et le cristal qui en résultera manifestera alors cette dissymétrie spéciale de groupement en prenant l'hémiédrie holoaxe.

Pour trouver d'une manière générale la loi des groupements qui peuvent donner naissance à la polarisation rotatoire dans les cristaux uniaxes ou cubiques, il suffit de poser les règles suivantes :

1° Il faut que le nombre des orientations diverses du groupement soit en nombre suffisant pour donner au cristal le minimum de symétrie compatible avec le système cristallin.

2° Il faut que le groupement n'acquière pas de centre de symétrie, ce qui enlèverait au groupement la dissymétrie qui permet d'y distinguer une droite et une gauche.

Pour satisfaire à la première règle, il suffit de remarquer que la structure du groupement est fixée par la position relative que les ellipsoïdes optiques correspondant à chaque lame occupent dans l'espace autour de l'axe du groupement. Un ellipsoïde est fixé lorsque, la direction cristallographique coïncidant avec l'axe principal, on donne la position d'une autre direction de l'ellipsoïde, celle d'un de ses axes principaux par exemple. Cet axe principal pourra donc prendre autant de positions que celles que prend la normale à l'une des faces d'une forme simple holoédrique ou mériédrique du système cristallin auquel appartient le cristal composé.

Supposons, par exemple, que la molécule soit anorthique et pseudoquadratique. Il ne suffira pas de superposer quatre molécules à angle droit, car un semblable groupe-

ment aurait un centre de symétrie et ne donnerait pas de polarisation rotatoire. Mais si nous considérons la forme simple la plus complexe de l'hémiédrie holoaxe du système quaternaire, qui a quatre pôles en haut et quatre pôles en bas, non symétriques des premiers par rapport au plan médian, ces huit pôles détermineront ceux des axes des ellipsoïdes qui doivent appartenir aux molécules composantes. On superposera donc huit molécules et de telle sorte qu'on fasse succéder un pôle supérieur à un pôle inférieur, en marchant toujours dans le même sens. Cela reviendra, en empilant les molécules, à les faire tourner, de deux en deux, de 180° autour de l'axe cristallographique OP (*fig.* 5). Les pôles des ellipsoïdes moléculaires sont alors distribués dans l'ordre qu'indique la figure. La *fig.* 6 montre l'ordre dans lequel se succèdent les sections principales des molécules superposées relatives à une propagation dirigée suivant l'axe quadratique.

On peut supposer que cette structure est celle du groupement du sulfate de strychnine quoique l'examen cristallographique n'ait pas fait constater dans les cristaux de cette substance l'hémiédrie holoaxe. On voit en effet que la tétartoédrie définie par le symbole A^4,oL, oC,oP ne donnant pas de polarisation rotatoire, aucune autre structure n'est admissible.

Pour obtenir un cristal ayant la symétrie du quartz, on ne pourrait s'adresser à trois molécules terbinaires superposées en faisant des angles de 120°, car ce groupement, réalisé par les lames de mica de Reusch, donnerait un axe principal sénaire, et une hémiédrie holoaxe sénaire qui ne s'est pas rencontrée dans la nature.

Mais on pourrait partir d'une molécule anorthique pseudosénaire ou pseudoternaire. On en grouperait six de telle sorte que les pôles de l'ellipsoïde occupent les positions des six pôles de la forme hémiédrique de quartz, dont trois sont en haut et trois en bas, comme on le voit dans

la *fig.* 7, où les pôles supérieurs sont les points noirs, et les pôles supérieurs les points blancs. Les sections principales des six molécules superposées seraient placées symétriquement par rapport aux axes binaires L.

Pour obtenir un cristal cubique à polarisation rotatoire, on pourrait prendre une molécule pseudocubique à symétrie quaternaire. On en grouperait trois autour de l'axe pseudoternaire. Le cristal aurait quatre axes ternaires et trois axes quaternaires, mais la molécule aurait un centre, et le cristal n'aurait pas de polarisation rotatoire.

On pourrait avoir une molécule rhombique dont un des axes de symétrie coïnciderait avec un axe pseudoquaternaire, tandis que les deux autres coïncideraient avec des axes pseudobinaires. Les six orientations possibles de la molécule seraient alors indiquées par les pôles 1, 2, 3, 4, 5, 7 (*fig.* 8) que l'on peut supposer être ceux des bissectrices aiguës optiques. Pour obtenir un groupement régulier, on pourrait superposer, suivant un axe quaternaire Q, d'abord deux molécules avec l'orientation 1, puis une molécule avec l'orientation 2, et ainsi de suite en prenant les orientations dans l'ordre de la *fig.* 8, et posant alternativement deux molécules, puis une seule. On remarquera que les orientations 2 et 6, 4 et 8 étant identiques, on aura bien ainsi deux molécules pour chaque orientation. On pourra ainsi construire une molécule composée cubique dont les strates, normales à l'axe Q, seront composées de molécules simples ayant la même orientation. Un cristal construit avec une semblable molécule composée ne manifesterait pas de polarisation rotatoire pour tous les rayons lumineux perpendiculaires à l'axe Q. Pour avoir un cristal jouissant des mêmes propriétés suivant les trois axes quaternaires, il faudra supposer qu'on fasse entrer, en nombre égal, dans l'empilement, des molécules composées de la même façon par rapport à ces trois axes.

Un semblable cristal serait doué de l'hémiédrie ho-

loaxe, puisqu'il aurait tous les axes de l'holoédrie et serait dépourvu de centre.

Si la molécule était seulement clinorhombique, on pourrait conserver la même structure au cristal; les axes seraient encore conservés, comme le montre la *fig.* 9, où les pôles sont supposés être ceux des bissectrices aiguës et où l'on a figuré par de petits traits les directions des plans des axes. On aurait donc encore l'hémiédrie holoaxe.

Si la molécule était anorthique, on pourrait donner aux pôles des bissectrices aiguës les douze positions des pôles de la forme parahémiédrique la plus générale (*fig.* 10). On formerait une molécule cubique composée, dont les strates successives seraient formées de molécules simples identiques dont les orientations se succéderaient suivant l'axe quaternaire dans l'ordre des numéros de la figure. Il faudrait encore supposer que dans l'édifice cristallin il entre un nombre égal de molécules composées ayant la même structure par rapport à chacun des trois axes pseudoquaternaires. Les axes pseudoquaternaires deviendraient binaires dans l'édifice cristallin qui serait ainsi tétartoédrique, comme le sont les cristaux actifs connus jusqu'à présent.

Expressions de U et de Ω. — Après avoir défini les groupements moléculaires susceptibles de donner la polarisation rotatoire aux cristaux qu'ils forment, nous allons étudier les phénomènes que montrent ces cristaux. Il nous faut reprendre les expressions de U et de Ω qui contiennent, on le sait, $\dot{r}E$ en facteur. Suivant l'axe optique, rE a une certaine valeur que nous appellerons Ω_0 et que l'on obtiendrait aisément en construisant le polygone de la rotation, qui est dans ce cas, comme on l'a vu, un polygone fermé.

Lorsque l'on considère une direction inclinée sur l'axe principal d'un angle que nous supposerons petit et que nous appellerons $d\rho$, la quantité r varie, et on peut toujours poser :

$$r = r_0 + K d\rho + K' \overline{\delta\rho}^2,$$

r_0 étant la valeur de r suivant l'axe et K, K' de certains coefficients. Il est aisé de voir que $K = 0$. En effet, si nous prenons, suivant toutes les directions de propagation inclinées sur l'axe, des longueurs proportionnelles à r (en supposant la direction de la vibration toujours située dans la section principale), nous formerons une certaine surface, dont l'indicatrice autour du pôle de l'axe principal est un cercle, puisque, l'axe étant multiple, cette ellipse doit avoir plus de deux diamètres égaux entre eux. La surface se réduit donc à une sphère dans le voisinage du pôle de l'axe, et r_0 est une valeur maximun de la fonction r. Cela exige, comme on sait, que le coefficient de $d\rho$ soit nul.

Si donc on néglige les termes en $\overline{d\rho}^2$ ou en $\sin^2\rho$, on pourra poser sensiblement, pour toute direction peu inclinée sur l'axe, $r = r_0$. Les expressions de U et de Ω pour toutes les directions peu inclinées sur l'axe deviennent ainsi

$$\Omega = \Omega_0 \frac{\sin E\Delta}{E\Delta}$$

$$U = \Omega_0 \frac{\sin^2 \frac{1}{2} E\Delta}{\frac{1}{2} E\Delta}.$$

Dans les cristaux uniaxes, on voit que Ω devient nul pour toutes les valeurs de $E\Delta$ comprises dans la formule

$$E\Delta = (n + 1)\pi.$$

Il est du même signe que Ω_0 pour toutes les valeurs de $E\Delta$ comprises entre un nombre pair de fois π et le nombre impair de fois π qui lui est immédiatement supérieur. Le signe est contraire à celui de Ω_0 pour toutes les autres valeurs de $E\Delta$.

Le signe de Ω ne dépend pas de Δ, il est donc le même,

toutes choses égales, pour les cristaux positifs ou négatifs, le même, dans un même cristal, pour les deux vibrations principales.

Si l'on prend pour abscisses les valeurs de $E\Delta$ et pour ordonnées celles de Ω, on obtient une sorte de sinusoïde qui a pour asymptote l'axe des x (*fig.* 4).

Quant à U, il change de signe avec Ω_0 et avec Δ ; il est donc, dans un même cristal, de signe contraire pour les deux vibrations principales. Les ellipses vibratoires auxquelles donnent lieu, à l'émergence, ces vibrations principales sont parcourues en sens contraires. Pour une même vibration, U reste toujours de même signe, mais il devient nul pour toutes les valeurs de $E\Delta$ comprises dans la formule

$$E\Delta = 2n\pi.$$

La courbe qui représente les valeurs de U (*fig.* 4) est encore une sorte de sinusoïde qui a pour asymptote l'axe des x, et vient toucher cet axe pour toutes les valeurs de l'abscisse égales à $2n\pi$.

On déduirait de ces formules, par des calculs extrêmement simples, toutes les particularités observées sur les cristaux de quartz et sur les piles ternaires de mica de Reusch, mais il me paraît inutile d'entrer dans ces détails.

Lorsque le groupement moléculaire donne lieu à un cristal cubique, Δ est égal à zéro, et l'on a par conséquent $\Omega = rE$ et $U = 0$. La valeur de r est la même suivant les directions de chacun des axes ternaires et aussi suivant des directions notablement inclinées sur celles-là. On peut en conclure que la rotation est sensiblement la même suivant toute direction de l'espace; toutefois il faut remarquer que cette conclusion, qui est conforme à l'observation, n'apparaît ici que comme étant d'une vérité approximative.

Comparaison des formules avec celles de

Cauchy. — On sait que Cauchy a donné, pour représenter la rotation des cristaux de quartz suivant des directions peu inclinées sur l'axe du cristal, une formule dont l'exactitude a été vérifiée expérimentalement par M. Jamin (*). Il est très intéressant de comparer les formules de Cauchy avec les nôtres.

Supposons une vibration rectiligne, perpendiculaire au plan qui contient l'axe principal, et dont la direction de propagation est inclinée d'un angle petit ρ sur cet axe. Nous décomposons cette vibration incidente rectiligne, que nous représenterons par

$$x = \sin\tau,$$

en deux vibrations elliptiques de sens inverse

$$x = \frac{1}{1+k^2}\sin\tau \qquad x' = \frac{k^2}{1+k^2}\sin(\tau-\delta)$$
$$y = \frac{k}{1+k^2}\cos\tau \qquad y' = \frac{k}{1+k^2}\cos(\tau-\delta)$$

Ces deux vibrations doivent équivaloir à la vibration elliptique que nous avons considérée jusqu'ici, dont les axes sont dirigés suivant ξ et η (*fig.* 11) et qui, rapportée à ses axes, a pour équations

$$\xi = \sin(\tau-\varphi)$$
$$\eta = u\cos(\tau-\varphi).$$

L'axe ξ faisant avec x l'angle que nous avons appelé ω, la vibration elliptique rapportée aux axes x, y, a pour équations :

$$\begin{aligned} X = {} & \sin\tau\,(\cos U\cos\Omega\cos\varphi - \sin U\sin\Omega\sin\varphi) \\ & + \cos\tau\,(-\cos U\cos\Omega\sin\varphi - \sin U\sin\Omega\cos\varphi) \\ Y = {} & \sin\tau\,(\cos U\sin\Omega\cos\varphi + \sin U\cos\Omega\sin\varphi) \\ & + \cos\tau\,(-\cos U\sin\Omega\sin\varphi + \sin U\cos\Omega\cos\varphi). \end{aligned}$$

(*) *Annales de physique et de chimie*, 5e série, t. XXX, 1850.

Les deux vibrations elliptiques donnent une vibration résultante dont les équations pourront s'écrire

$$X = \sin\tau\left(\frac{1}{1+k^2}+\frac{k^2}{1+k^2}\cos d\right)-\frac{k^2}{1+k^2}\sin d\cos\tau$$

$$Y = \cos\tau\left(\frac{k}{1+k^2}-\frac{k}{1+k^2}\cos d\right)-\frac{k}{1+k^2}\sin d\sin\tau.$$

En identifiant ces deux modes de représenter la vibration émergente, on obtient les équations

$$\frac{1}{1+k^2}+\frac{k^2}{1+k^2}\cos d = \cos U\cos\Omega\cos\varphi-\sin U\sin\Omega\sin\varphi = M,$$

$$\frac{k^2}{1+k^2}\sin d = \cos U\cos\Omega\sin\varphi+\sin U\sin\Omega\cos\varphi = M',$$

$$-\frac{k}{1+k^2}\sin d = \cos U\sin\Omega\cos\varphi+\sin U\cos\Omega\sin\varphi = N',$$

$$\frac{k}{1+k^2}-\frac{k}{1+k^2}\cos d = -\cos U\sin\Omega\sin\varphi+\sin U\cos\Omega\cos\varphi = N.$$

Élevant au carré les deux dernières équations et ajoutant membre à membre, il vient, toutes réductions faites,

$$4\sin^2\frac{d}{2}=\frac{(1+k^2)^2}{k}(\cos^2 U\sin^2\Omega+\sin^2\cos^2\Omega) = N^2+N'^2.$$

On a d'ailleurs

$$M-\frac{1}{k}N=\frac{1+k^2}{1+k^2}\cos d=\cos d$$

$$M'-\frac{1}{k}N'=\sin d.$$

et par conséquent

$$\left(M-\frac{1}{k}N\right)^2+\left(M'-\frac{1}{k}N'\right)^2=1,$$

ou encore

$$k^2(1-M^2-M'^2)+2k(MN+M'N')-(N^2+N'^2)=0.$$

On a d'ailleurs

$$M^2 + M'^2 = \cos^2 U \cos^2 \Omega + \sin^2 U \sin^2 \Omega$$
$$N^2 N'^2 = \cos^2 U \sin^2 \Omega + \sin^2 U \cos^2 \Omega$$
$$MN + M'N' = \sin\ U \cos\ U$$
$$1 - M^2 - M'^2 = \cos^2 U \sin^2 \Omega + \sin^2 U \cos^2 \Omega = N^2 + N'^2.$$

L'équation en k devient donc

$$k^2 + k \frac{\sin 2\,U}{\cos^2 U \sin^2 \Omega + \sin^2 U \cos^2 \Omega} - 1 = 0.$$

ou, en remplaçant $\sin^2 \Omega$, $\sin^2 U$ par Ω^2 et U^2, et $\cos \Omega$, $\cos U$ par 1,

$$k^2 + 2k \frac{U}{U^2 + \Omega^2} - 1 = 0.$$

Nos formules donnent

$$U^2 + \Omega^2 = \frac{4\,\Omega_0^2 \sin^2 \frac{1}{2} E\Delta}{E^2 \Delta^2}$$

et

$$\frac{2\,U}{U^2 + \Omega^2} = \frac{E\Delta}{\Omega_0}.$$

On a donc pour la valeur de k,

$$k = -\frac{E\Delta}{2\,\Omega_0} \pm \sqrt{1 + \frac{E^2\Delta^2}{4\Omega_0^2}},$$

d'où l'on tire

$$k + \frac{1}{k} = \frac{1 + k^2}{k} = 2\sqrt{1 + \frac{E^2\Delta^2}{4\Omega_0^2}}$$

et

$$\frac{(1 + k^2)^2}{k^2} = 4 + \frac{E^2\Delta^2}{\Omega_0^2}.$$

On a donc enfin, en portant cette expression de $\frac{(1+k^2)^2}{k^2}$ dans celle de $4\sin^2\frac{d}{2}$,

$$4\sin^2\frac{d}{2} = \left(4+\frac{E^2\Delta^2}{\Omega_0^2}\right)\frac{\Omega_0^2\sin^2\frac{1}{2}E\Delta}{\frac{1}{4}E^2\Delta^2}.$$

Pour comparer cette formule avec celle de Cauchy, nous supposons d'abord petits d et $E\Delta$; en assimilant $4\sin^2\frac{d}{2}$ avec d^2, $\sin^2\frac{1}{2}E\Delta$ avec $\frac{1}{4}E^2\Delta^2$, il vient alors

$$d^2 = 4\Omega_0^2 + E^2\Delta^2,$$

ou en remarquant que $2\Omega_0$ est la valeur de d pour la propagation suivant l'axe

$$d^2 = d_0^2 + E^2\Delta^2,$$

formule identique à celle de Cauchy (*)

$$d^2 = d_0^2\cos^4\rho + E^2\Delta^2,$$

puisque $\cos^4\rho$ peut toujours être supposé égal à 1.

Lorsque d et $E\Delta$ sont grands, alors le terme $4\Omega_0^2$ devient négligeable devant $E^2\Delta^2$, et les deux formules donnent la même valeur, $d = E\Delta$.

La théorie que nous avons exposée, appliquée à la polarisation rotatoire cristalline, retrouve donc, d'une façon exacte et complète, les phénomènes constatés par l'observation.

Il faut remarquer que la cause de la polarisation rotatoire des cristaux se trouvant dans l'existence de certains groupements moléculaires qui disparaissent lorsque l'édifice cristallin est détruit, les dissolutions des cristaux ac-

(*) *Annales de physique et de chimie*, loc. cit.

tifs seront en général inactives. Lorsque, ainsi qu'il arrive pour le sulfate de strychnine, cette dissolution est active, c'est que la molécule jouit elle-même du pouvoir rotatoire. Cette action de la molécule est du reste sans aucun lien direct avec celle du cristal, et il n'y a aucun rapport entre l'intensité du pouvoir rotatoire de celui-ci, et celle, toujours beaucoup plus faible, de la dissolution.

Manière dont Fresnel représente la polarisation rotatoire du quartz suivant son axe. — Fresnel, en appliquant à la polarisation rotatoire du quartz la théorie des vibrations lumineuses éthérées, à laquelle il devait attacher son nom d'une manière ineffaçable, remarqua que la propagation d'une vibration rectiligne équivaut à celle de deux vibrations circulaires de sens contraire marchant avec la même vitesse, et que la propagation d'une vibration rectiligne qui s'avance, comme dans le quartz suivant l'axe, en tournant d'un angle proportionnel au chemin parcouru, équivaut à celle de deux vibrations circulaires de sens contraire, marchant avec des vitesses inégales.

Il n'y avait là, on le voit, aucune idée théorique particulière sur la cause ou la nature de la polarisation rotatoire. L'état vibratoire du cristal de quartz, traversé suivant l'axe par une vibration rectiligne, était complètement connu en chaque point par la loi expérimentale de la rotation en raison de l'épaisseur; Fresnel, avec ce qu'on a appelé bien improprement sa théorie, se bornait à donner de cet état vibratoire une nouvelle et fort élégante traduction cinématique.

Cette manière de représenter les modifications successives qu'une vibration rectiligne éprouve en traversant le cristal permettait d'ailleurs de résoudre avec une extrême simplicité des problèmes qui eussent, sans son secours, exigé d'assez pénibles calculs. C'est ainsi que

Fresnel en déduisit immédiatement que, lorsque la surface d'émergence est inclinée sur l'axe, le rayon se partage, à la sortie, en deux rayons circulaires de sens inverse, et légèrement divergents. Cette conséquence, que M. Gouy a récemment démontrée d'une manière directe et sans s'appuyer sur la décomposition de Fresnel, fut, comme on devait s'y attendre, confirmée par l'observation. Elle ne pourrait, en effet, être inexacte qu'à la condition que la loi expérimentale de la rotation en raison de l'épaisseur le fût elle-même.

Mais cette confirmation expérimentale ne saurait être considérée, ainsi qu'on le dit souvent, comme une preuve péremptoire de l'existence *réelle* de deux vibrations circulaires de sens contraire se propageant avec des vitesses inégales suivant l'axe du quartz. Il n'y a, à proprement parler, de réel dans un mouvement que le mouvement résultant; tous les mouvements, en nombre infini, entre lesquels on peut le décomposer, n'ont jamais qu'une existence logique en quelque sorte.

Il semble d'ailleurs, en lisant les écrits de Fresnel, que ce grand homme n'ait jamais eu d'autre prétention que de donner à la propagation lumineuse suivant l'axe du quartz une forme plus lucide et plus saisissante. Il pensait aussi, sans doute, que cette forme, si inattendue et si originale, se prêterait mieux qu'aucune autre à la recherche des causes de la polarisation rotatoire. Cet espoir ne s'est guère réalisé, et la décomposition de Fresnel, déjà complexe pour la propagation suivant l'axe, ne s'est prêtée à la représentation de la propagation suivant des directions inclinées qu'au prix d'une complication de plus en plus grande, et à mon sens bien superflue. Je pense donc que, tout en conservant cette décomposition pour l'étude de certains phénomènes à laquelle elle se prête de la façon la plus heureuse, il est inutile de continuer à en faire la base même de la théorie et de l'exposition des phénomènes.

CHAPITRE IV.

RÉSUMÉ.

En résumé, dans le travail précédent nous avons appliqué la théorie de la double réfraction à deux cas profondément distincts.

Cristaux formés par des groupements moléculaires. — Polarisation rotatoire des cristaux. — Dans le premier cas, nous avons étudié les modifications qui s'introduisent dans la biréfringence des cristaux lorsqu'au lieu de les supposer formés par un empilement régulier de molécules parallélipipédiques toutes identiques entre elles et semblablement orientées, on substitue à la molécule un certain enchevêtrement régulier et constant de molécules simples.

Nous avons vu que les propriétés optiques des cristaux ainsi composés sont régies, ou à peu près, comme celles des cristaux simples, par un certain ellipsoïde inverse dont nous avons appris à connaître les constantes lorsqu'on donne celles des ellipsoïdes propres aux molécules composantes.

A proprement parler, ce premier cas peut être résolu sans hypothèse, ou plutôt sans autre hypothèse que celle qui consiste à admettre que les molécules diverses qui entrent dans la structure du cristal gardent, dans cet assemblage, les propriétés optiques qui leur appartiennent dans les cristaux où chacune d'elles entre seule. Cette hypothèse ne peut d'ailleurs être qu'approximative. Il est hautement vraisemblable, en effet, que lorsque des molécules de natures diverses sont mises en contact, il doit se manifester certaines altérations mutuelles dans les propriétés phy-

siques de chacune d'elles. Les formules à laquelle la théorie nous a conduits pourront servir précisément à constater et à mesurer ces altérations qu'il serait si curieux de connaître. Les observations connues jusqu'à présent permettent de dire que, dans un grand nombre de cas, l'importance de ces altérations et celle des anomalies optiques qu'elles produiraient sont assez faibles.

En tout cas, ce qui n'est pas hypothétique, c'est l'application à ces molécules des lois de la double réfraction, car la molécule est la plus petite partie du cristal qui conserve encore toutes les propriétés physiques de celui-ci.

Cette première partie de la théorie s'applique d'une part aux cristaux formés par des mélanges, en proportions variables, de corps isomorphes, c'est-à-dire de corps qui, avec une forme moléculaire identique, sont substantiellement et optiquement différents. Les observations de M. Dufet et de M. Wyrouboff confirment l'exactitude des formules.

Cette partie de la théorie s'applique encore aux cristaux dans lesquels il n'entre qu'une seule espèce de molécules, mais dans lesquels celles-ci s'empilent suivant des orientations différentes qui, tout en leur permettant d'occuper le même lieu dans l'espace, leur donnent des propriétés physiques différentes suivant les mêmes directions de l'espace. On peut dire alors que la véritable molécule cristalline est formée par des groupements de molécules identiques entre elles, mais diversement orientées.

Nos formules nous permettent de trouver les propriétés optiques d'un cristal formé par un groupement connu de molécules lorsqu'on connaît celles du cristal dans lequel les molécules sont toutes orientées de la même façon.

Nous avons vu que, lorsque les groupements moléculaires dont il vient d'être question satisfont à une certaine loi, le cristal composé présente les phénomènes de la polarisation rotatoire, ainsi qu'il était permis déjà de le conclure

des phénomènes présentés par les croisements de lames minces de mica réalisés par M. Reusch.

La théorie nous a permis d'expliquer pourquoi la polarisation rotatoire ne se montre que dans les cristaux uniaxes ou biréfringents, et pourquoi elle est toujours sans rapport avec la polarisation rotatoire moléculaire. Elle nous a permis en même temps de retrouver toutes les lois expérimentales de la polarisation rotatoire de cristaux tels que le quartz. C'est ainsi que nous avons vu que, sauf les anomalies que peut produire la dispersion cristalline, la rotation, toujours proportionnelle à l'épaisseur du cristal, est en raison inverse du carré de la longueur d'onde. Nous avons vu aussi que, suivant l'axe principal, la vibration ressort rectiligne, tandis que, suivant des directions inclinées, une vibration dirigée suivant une section principale ressort elliptique. La rotation du grand axe de cette ellipse varie périodiquement en changeant de sens et passant par zéro toutes les fois que le retard de deux vibrations perpendiculaires suivant la direction de propagation est égal à un nombre entier de demi-longueurs d'onde.

Le petit axe de l'ellipse varie aussi périodiquement, mais il reste de même signe pour une même vibration, et il est de signe contraire pour les deux vibrations principales ; il s'annule toutes les fois que le retard des vibrations principales est égal à un nombre entier de longueurs d'onde. La grandeur de la rotation et celle du petit axe décroissent rapidement avec l'accroissement du retard des deux vibrations principales.

Nous avons comparé les formules auxquelles conduit cette manière très simple de représenter le pouvoir rotatoire d'un cristal à celles qui ont été indiquées par Cauchy et vérifiées par M. Jamin ; nous avons trouvé que les deux formules donnent les mêmes résultats pratiques.

La polarisation rotatoire cristalline se trouve ainsi dé-

pendre, suivant des lois très simples, des lois ordinaires de la double réfraction, et de cette propriété très importante des cristaux à forme limite de pouvoir se construire avec une molécule composée formée de groupements moléculaires.

Groupements atomiques. — Polarisation rotatoire moléculaire. — Le second cas auquel nous avons appliqué notre théorie est celui où l'on considère les propriétés biréfringentes, non plus comme une donnée de l'observation, mais comme une résultante de celles des milieux éthérés dans lesquels vibrent chacun des atomes composants. De semblables milieux n'étant pas accessibles à l'observation directe, les propriétés optiques qu'on leur attribue sont purement et simplement hypothétiques. Nous avons admis qu'une molécule est formée par des atomes dont le centre de vibration est immuable. Nous avons pu alors décomposer la molécule en un certain nombre de milieux distincts, plus ou moins enchevêtrés, et dans chacun desquels vibre un seul atome. Cette vibration de la matière pondérable crée dans l'éther une certaine dissymétrie, et nous avons admis que celle-ci a pour résultat de communiquer au milieu les propriétés biréfringentes des cristaux.

Nous avons constaté d'abord que cette hypothèse s'accorde avec les données expérimentales qui montrent que les cristaux, bien que ne jouissant pas de l'homogénéité qui leur est attribuée par la théorie, satisfont cependant aux lois auxquelles cette théorie conduit, au moins approximativement.

Nous avons vu, en outre, que, toutes les fois que la molécule est d'une dissymétrie telle qu'on peut y distinguer une droite et une gauche, mais seulement dans ce cas, celle-ci communique à la vibration qui la traverse une certaine rotation. Nous avons vu qu'il résulte, de l'extrême petitesse du milieu atomique homogène, que le pouvoir rotatoire des groupements atomiques, bien différent en

cela de celui des groupements moléculaires, ne peut être observé dans les cristaux. En revanche, la molécule gardant le même arrangement intérieur lorsque la structure cristalline a disparu, nous avons montré que le pouvoir rotatoire peut se manifester soit dans les liquides à molécules dissymétriques, soit dans les dissolutions de cristaux à molécules dissymétriques. Nous avons vu d'ailleurs qu'une vibration rectiligne qui traverse un semblable liquide doit en ressortir rectiligne après avoir subi une rotation proportionnelle au nombre des molécules traversées et en raison inverse du carré de la longueur d'onde, réserve faite des anomalies causées par la dispersion cristalline des milieux atomiques.

Nous avons donc pu déduire de l'hypothèse précitée sur les propriétés optiques des milieux atomiques l'explication du fait de la polarisation rotatoire moléculaire et celle des lois auxquelles elle est assujettie.

Cet accord remarquable des faits avec une hypothèse, d'ailleurs fort naturelle, est de nature à appeler l'attention sur celle-ci. Si des travaux ultérieurs viennent à en appuyer l'exactitude, il ne paraît pas impossible d'arriver à déduire des faits expérimentaux les propriétés optiques des milieux atomiques contenant des atomes simples. Les observations optiques, avec le secours de la théorie, pourraient ainsi arriver à jouer un rôle prépondérant dans la recherche, si séduisante, de la structure interne de la molécule.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. ROCHE,

INGÉNIEUR DES MINES,

Par M. ROLLAND, ingénieur des mines.

Le Corps des mines porte le deuil d'un de ses plus jeunes ingénieurs, mort glorieusement pour le pays au fond du Sahara.

Roche (Jules) est né à Eyguières (Bouches-du-Rhône) le le 24 février 1854. Il a fait ses premières études au collège de Tarascon et les a terminées au lycée de Marseille. En 1872, dès sa première année de mathématiques spéciales, il fut reçu à la fois à l'École polytechnique et à l'École normale. Il opta pour l'École polytechnique, d'où il sortit le troisième de sa promotion. Il choisit la carrière des mines. La même année, il passa sa licence ès-sciences mathématiques.

Roche visita, comme élève-ingénieur des mines, les bassins de la Loire et du Gard, puis l'Italie, l'Autriche et la Hongrie, enfin le sud-ouest de la France, l'Espagne et l'Algérie. Il fit ces deux derniers voyages avec son collègue et intime ami Badoureau.

Le 11 avril 1878, Roche fut nommé ingénieur ordinaire de 3e classe, et, bientôt après, chargé du service du sous-arrondissement minéralogique de Besançon. Le 16 mai 1879, il fut envoyé à Nice.

Tous ceux qui ont connu Roche ont apprécié sa valeur, son intelligence distinguée, la variété de ses aptitudes, son esprit fin et critique, son sens droit, et, à l'occasion, son activité et sa force de volonté. Tous ont été attirés par sa

physionomie sympathique, l'excessive modestie de son caractère, l'aménité et la douceur extrême de sa nature. Ses amis savent quel cœur loyal et dévoué était le sien.

Roche avait le goût des voyages. L'Algérie l'avait séduit, et dès qu'il sut que le ministre des travaux publics organisait les missions du chemin de fer transsaharien, il s'offrit avec ardeur. Le programme était tentant : il s'agissait d'explorer le Sahara et de pénétrer ses mystères. L'idée était grande : il s'agissait de préparer à notre commerce des débouchés nouveaux et d'ouvrir à notre civilisation l'Afrique occidentale.

Roche fut attaché comme géologue à la mission du colonel Flatters. On sait qu'elle avait à étudier un tracé qui prolongeât la ligne de Biskra à Ouargla vers le sud, et aboutît au Soudan entre le Niger et le lac Tchad.

La mission quitta Ouargla le 5 mars 1880. Elle gagna El Beyyodh par Aïn el Taïba. Le colonel Flatters fut ensuite amené, pour nouer des relations avec le chef des Touareg Azdjer, à obliquer au sud-est vers Rhat ; il s'avança ainsi jusqu'au 26e degré de latitude environ. Puis, les négociations traînant en longueur, il rentra en Algérie. Un itinéaire différent fut reconnu au retour. D'El Beyyodh à Ouargla, Roche, son compagnon M. Béringer, ingénieur des travaux de l'État, et son camarade M. Bernard, capitaine d'artillerie, se détachèrent de la caravane avec quelques Arabes seulement, et explorèrent le gassi de Mokhanza dans une volte rapide et hardie.

Rentré en France au mois de juin 1880, Roche rendit compte, dans un rapport au ministre, de la géologie et de l'hydrologie des régions parcourues. Il a consigné les principaux résultats de ses travaux dans une note à l'Académie des sciences (*) et dans un article de la *Revue scientifique* (**).

(*) Novembre 1880.
(**) Numéro du 27 novembre 1880.

Il signale « l'existence, au milieu du massif des grandes « dunes de sable, au sud de Ouargla, entre Aïn Mokhanza « et El Beyyodh, d'une large région plane de 250 kilo- « mètres de longueur, recouverte seulement de dunes « isolées, parallèles, allongées dans la direction du méri- « dien magnétique, et distantes les unes des autres de « plusieurs kilomètres. C'est dans la partie orientale de « cette région que se trouve, dirigé aussi N. S. magnétique, « le lit de l'Oued Igharghar, lit sans berges, » etc. Cette découverte est aussi importante au point de vue pratique du chemin de fer transsaharien qu'au point de vue théorique du régime des dunes. Elle prouve qu'on peut aller de Ouargla à El Beyyodh sans avoir une seule dune à traverser; au delà, le pays est libre de sable jusqu'au Soudan.

Entre El Beyyodh et Timassinin, Roche a retrouvé les deux étages crétacés que je venais de constater moi-même dans la région d'El Golea. Ces deux étages forment deux plateaux calcaires successifs, qui couronnent respectivement deux séries d'escarpements marneux et gypseux. L'escarpement inférieur s'est montré fossilifère à Timassinin ainsi qu'auprès d'El Golea : il est nettement cénomanien.

De Timassinin vers le sud-est, la mission a suivi, le long de la vallée des Irharharen, le bord oriental du Tassili ou plateau des Azdjer. Ce plateau est constitué par des grès quartzeux, qui, d'après les fossiles recueillis par Roche, semblent appartenir au dévonien et peut-être au dévonien moyen.

Une seconde exploration fut confiée au colonel Flatters. Il avait à poursuivre vers le Ahaggar le prolongement sud du tracé déja étudié l'hiver précédent depuis Biskra jusqu'à 100 kilomètres au sud d'El Beyyodh, soit sur plus de 900 kilomètres en Sahara, longueur sur laquelle il s'était montré d'une facilité inespérée.

Roche n'hésita pas à repartir. Plus résolu que jamais,

fort de l'expérience acquise, plein de confiance dans le succès, il nous disait, l'automne dernier, au revoir.

Le 4 décembre 1880, la mission quittait de nouveau Ouargla et s'enfonçait dans le sud. Elle comptait 10 Français et 82 indigènes, la plupart anciens tirailleurs, avec 3 chevaux, 92 chameaux coureurs ou mehara, et 118 chameaux porteurs. En route, elle s'augmenta de quelques indigènes.

La mission a envoyé quatre courriers. Chacun comprend un journal de route, une carte de l'itinéraire et une note géologique. Grâce à ces précieux documents, témoins de l'ardeur infatigable de nos braves missionnaires, le fruit de leurs découvertes ne sera pas entièrement perdu, et nous pourrons leur élever le monument scientifique auquel ils ont droit.

Voulant explorer, chemin faisant, une région nouvelle, le colonel suivit d'abord une direction intermédiaire entre les itinéraires de sa première mission d'Ouargla vers El Beyyodh et l'itinéaire de la mission Choisy d'Ouargla à El Golea : il remonta, vers le sud-ouest, l'Oued Mya jusqu'à Hassi Inifel (18 décembre), puis un important affluent de cette vallée, l'Oued Insokki, qui vient du sud. D'Hassi Insokki, il se rabattit vers le sud-est, traversant la partie orientale du plateau de Tademayt, jusqu'à la plaine alluvionnaire de Mesegguem (6 janvier).

Dans une lettre datée d'Hassi El Mesegguem, Roche me parlait de la géologie des régions parcourues. Il décrivait le plateau de Tademayt, qui est crétacé, ainsi que nous le pensions. Il était plein d'entrain. Quant au danger, il n'y pensait guère.

D'Hassi El Mesegguem, la mission, continuant vers le sud-est, traversa la partie occidentale du plateau de Tinghert, où elle retrouva les deux étages crétacés signalés plus haut. Puis, de l'autre côté de la plaine alluvionnaire d'Ajemor, elle s'engagea dans l'extrémité sud-ouest des monts Iraouen, formés par des grès dévoniens, au delà desquels

elle atteignit Amdjîd (19 janvier), dans l'Oued Igharghar.

L'itinéraire se raccorde en ce point au tracé de Ouargla à El Beyyodh, avec prolongement par l'Oued Igharghar. A partir de là, le colonel Flatters se proposa de suivre l'ancienne route commerciale entre Ouargla et les États Haousa, par la saline d'Amadhôr et les oasis d'Aïr.

L'Oued Igharghar, un peu en aval d'Amdjîd, se trouve resserré entre le Tassili des Azdjer et les monts Iraouen, tous deux dévoniens, s'élargit beaucoup en amont, vers le sud, et forme une immense plaine bornée à l'est par le même plateau de Tassili, et à l'ouest par le plateau de Mouydir, également dévonien. Au delà, le terrain change, et Roche découvre une formation puissante de gneiss et de micaschistes. Ce sont eux qui constituent sur le bord occidental les monts Ifettesen, au profil dentelé, et du côté oriental la série des chaînes de montagnes de l'Egueré. On s'engage dans l'Egueré, on remonte l'Oued Tedjert, puis l'Oued Alouhaï. Au fond de cette dernière vallée, Roche trouve une coulée de basalte; il l'a déjà suivie sur 20 kilomètres de longueur. Des coulées semblables, venant de points situés plus au sud, semblent occuper le fond des vallées voisines.

Là s'arrêtent les renseignements. C'était le 29 janvier. On était à Inrhelman Tikhsin, au sud de l'Egueré. Nos voyageurs avaient parcouru plus de 1200 kilomètres depuis Ouargla, dans un pays que jamais pied européen n'a foulé. Ils arrivaient en vue de la saline d'Amadhôr, fameuse dans l'histoire des relations passées entre les États Barbaresques et le Haousa. Les découvertes allaient se multiplier. Bientôt le désert allait finir, et la zone des pluies tropicales commencer. Bientôt on allait voir le Soudan. « Si les choses continuent à aller bien, écrivait le colonel, nous irons à la mer par Sokoto et l'embouchure du Niger. » Projets grandioses que la France suivait avec une attention palpitante, et que la plus odieuse des trahisons devait réduire à néant !

Le désastre dut avoir lieu vers le 16 février. La mission longeait le flanc oriental du grand massif du Ahaggar, sur le chemin de l'Aïr. Elle devait se trouver à 7 journées de marche du puits d'Asiou, dans une région appartenant déjà au bassin du Niger, vers le 22° degré de latitude. Elle était encore sur le territoire des Touareg Ahaggar. Tout porte à croire que le massacre a eu lieu avec la complicité de leur chef Ahitârhen, et à l'instigation des Oulad Sidi Cheikh, ces princes religieux, jadis nos serviteurs, aujourd'hui nos implacables ennemis, dont l'influence occulte s'étend du sud de la province d'Oran, où ils sont réfugiés, dans le Sahara algérien, jusque dans le Touat, et même chez les Touareg, dans la tribu des Oulad Mesa'oud.

Tout le monde a lu et relu les circonstances du drame.

On terminait une étape. On devait s'arrêter auprès d'un puits, qui, d'après le guide, était au sud-ouest. Le guide prétendit s'être trompé et l'avoir dépassé. Il conseilla au colonel de camper, prétextant qu'il n'y avait pas de pâturage ailleurs. Le colonel donna l'ordre de poser le camp. Les chameaux déchargés furent envoyés au puits. Le colonel, le capitaine Masson, les ingénieurs Béringer et Roche, le docteur Guiard et le maréchal des logis Dennery prirent les devants et partirent en reconnaissance du même côté.

Le pays était accidenté. Le puits se trouvait à une heure environ du camp, au milieu d'une vallée aux flancs noirs et escarpés, découpés par des ravins. Quand on fut arrivé, MM. Béringer et Roche, comme toujours actifs et insouciants du danger, se détachèrent et allèrent seuls explorer la vallée.

Le colonel examinait le puits, quand tout à coup, se retournant, il aperçut des masses d'hommes s'avancer vers lui. Il les salua, mais voyant qu'ils avaient le sabre au poing, il courut à sa monture : son propre guide tenait la bride, et, comme le colonel mettait le pied à l'étrier, le traître lui donna un premier coup de sabre. Le capitaine

Masson ne put même atteindre son cheval, que le guide envoyé par Ahitârhen avait enfourché. Il y eut une lutte courte et héroïque entre ces quelques hommes de cœur et leur lâches assaillants. Le colonel, le capitaine, le docteur Guiard, le maréchal des logis Dennery succombèrent sous le nombre. Onze tirailleurs et dix chameliers furent tués. Quatre hommes et les deux guides passèrent à l'ennemi. Enfin, quatre s'enfuirent vers le camp, où ils annonçèrent la fatale nouvelle. Quant à MM. Béringer et Roche, on ne les avait pas vu tomber : mais les deux ingénieurs se trouvaient en avant, du côté par lequel étaient arrivés les Touareg ; ils opéraient sans défiance, et avaient dû être les premières victimes.

Mieux valait encore périr par le fer que par le poison, la soif et la faim !

Soixante-trois hommes restaient encore au camp. Mais les chameaux manquaient ! On prit quelques vivres, de l'argent, et l'on battit en retraite à pied sur Ouargla. Retraite lamentable, où ces hommes exténués, harcelés par un ennemi perfide, firent des prodiges de vitesse et déployèrent une énergie inouïe, semant le désert de leurs cadavres. D'horribles détails nous parviennent chaque jour sur la fin de ces malheureux. Les derniers Français ont péri, le lieutenant Dianous, l'ingénieur Santin, l'ordonnance du colonel, et enfin le maréchal des logis Pobéguin. De la mission Flatters, il ne survit que vingt indigènes qui ont pu gagner Ouargla.

Le monde entier a frémi d'indignation à ces nouvelles. La France saura venger ceux qui sont morts pour elle, et prouver aux peuplades du Sahara qu'on n'insulte pas impunément son drapeau.

Le ministre des travaux publics vient de proposer aux Chambres « d'ériger, au souvenir de la mission Flatters, « un monument à Ouargla, point de départ de son ex« ploration, à l'entrée même de la région stérile dont

« elle a fixé la topographie et la géologie, en face du pays « de parcours de ces tribus berbères, qui ont opposé à « la civilisation ancienne une barrière infranchissable, « mais ne sauraient arrêter l'expansion de la civilisation « moderne. »

Parmi les braves compagnons du colonel Flatters, parmi ces pionniers pacifiques de l'avenir de la France en Afrique, souvenons-nous avec fierté qu'un ingénieur des mines est tombé le premier, et inscrivons, nous aussi, le nom de Roche en caractères ineffaçables dans nos annales.

NOTE
SUR LE NITRE JAUNE
NOMMÉ VULGAIREMENT CALICHE AZUFRADO
ET SUR LA HUANTAJAÏTE

Par M. DOMEYKO.

Nitre jaune. — Le nitre jaune, ou *Caliche azufrado*, est une espèce de salpêtre qui apparaît dans presque tous les grands dépôts de nitrate de soude du désert d'Atacama (Aguas Blancas, Mejillones, etc.) et de la province de Tarapaca; mais nulle part elle ne se trouve en quantités aussi considérables que le nitrate blanc qu'elle accompagne.

La couleur de ce nitre est d'un jaune de soufre clair, quelquefois d'un jaune rougeâtre, parsemé de points rouges ou orangés ; sa structure est saccharoïde, jamais lamellaire ni fibreuse ; sa cassure est plane ou conchoïde. La matière jaune n'est jamais homogène : on la voit inégalement répartie au milieu du nitre blanc ordinaire. J'ai aussi trouvé dans un gros bloc de salpêtre naturel, apporté d'Aguas Blancas, la même matière jaunâtre, formant des grains bien arrondis, engagés dans une masse grisâtre composée principalement de nitrate de soude et de sel gemme.

Chauffé dans un tube fermé par un bout, le nitre jaune dégage des vapeurs abondantes d'iode, et le résidu, en se refroidissant, devient d'un blanc jaunâtre ou blanc; mais si l'on ajoute de l'eau, on obtient une dissolution de même couleur que celle du mineral non calciné.

Le nitre jaune est très soluble et déliquescent ; sa dis-

solution est neutre ; elle ne bleuit pas l'amidon, même quand on ajoute de l'acide nitrique, et ne donne pas de précipité avec le nitrate de palladium à moins qu'on ne la traite préalablement par l'acide sulfureux.

Quand on chauffe un poids déterminé de la partie la plus jaune du nitre dans un creuset en porcelaine, jusqu'à ce que les vapeurs d'iode cessent de se dégager, et qu'on reprend ensuite le résidu par l'eau, la liqueur qui en résulte accuse une réaction fortement alcaline, due à la décomposition partielle de l'iodure de sodium qui provient de l'action de la chaleur sur l'iodate de soude. On pourrait même, d'après le degré de l'alcalinité du liquide, déterminé au moyen d'une dissolution titrée d'acide sulfurique, juger approximativement de la richesse du nitre en iode.

Quant à l'acide chromique que ce nitre renferme, on n'a qu'à faire bouillir 4 à 5 grammes de la partie jaune du salpêtre, d'abord avec de l'acide chlorhydrique et ensuite avec de l'alcool, pour déterminer la quantité de sesquioxyde de chrome qui en résulte.

Si l'on ajoute à une dissolution du nitre jaune non calciné, du nitrate d'argent, il se forme un précipité plus ou moins abondant de chlorure d'argent qui ne noircit pas, mélangé de particules jaunâtres qui ne se déposent que très lentement, et la liqueur tarde beaucoup à s'éclaircir. En reprenant le précipité formé, par l'acide nitrique, le chlorure d'argent noircit comme à l'ordinaire, et la solution nitrique évaporée donne un résidu rouge brunâtre d'iodate d'argent.

Quelques difficultés se présentent aussi dans l'essai de ces salpêtres jaunes, pour la détermination de l'acide nitrique. On trouve qu'en général la méthode des chlorures, pouvant en même temps donner la proportion d'iode (si l'on commence par traiter la dissolution par l'acide sulfureux et le nitrate de protoxyde de palladium), est préférable à l'emploi du bichromate de potasse.

En examinant au spectroscope divers produits extraits des salpêtres jaunes, mon digne collègue M. Zegers ne tarda pas à y reconnaître la raie du lithium; ce qui m'engagea à opérer sur 200 grammes de matière jaune la plus homogène possible, dans le but de déterminer la proportion de la lithine et de rechercher la présence du rubidium. Dans ce but, après avoir transformé tout le nitre en chlorures, nous traitâmes ces derniers par un mélange à parties égales d'alcool et d'éther. Par ce moyen nous réussîmes à extraire de 200 grammes de nitre jaune $0^{gr},23$ de chlorure de lithium. En traitant ces mêmes chlorures provenant de 200 grammes de nitre par le chlorure platinique et appliquant au précipité potassico-platinique le procédé connu pour la recherche du rubidium, le spectroscope ne nous donna qu'un résultat négatif.

Voici les éléments que j'ai extraits de plusieurs analyses effectuées sur des échantillons de nitre jaune, provenant de *las Salitreras del Sacramento* de Iquique, (province de Tarapacà).

Sesquioxyde de chrome Cr^2O^3	Proportion variable; opérant sur divers mélanges de fragments choisis, j'obtiens, pour le Cr^2O^3, 0,23, 0,18, 0,30, 0,52 — Dernièrement, les 200 grammes qui m'ont servi à la recherche de lithine m'ont donné en oxyde de chrome $0^{gr},125$.	
Iode	3,18	(acide iodique 4,18)
Chlore	10,03	
Acide sulfurique	2,10	
— nitrique	34,10	
Potasse	8,45	
Soude	27,00	
Chlorure de lithine	0,12	
Chaux, magnésie	0.14	... 0,15

Le minerai, à l'état où je l'ai reçu, perd au bain-marie 7,05 de son poids et, environ 7,40 à une température plus élevée, avant que la vapeur d'iode commence à se dégager: il renferme ordinairement 2 à 3 1/2 p. 100 de matières terreuses. — Je présume que ces éléments se trouvent combinés de la manière suivante dans le nitre jaune:

Chromate de soude	0,90
Iodate de soude	4,95
Nitrate de soude	42,80
Nitrate de potasse	12,81
Sulfate de potasse	4,59
Chlorure de sodium	16,63
Chlorure de lithium	0,12

Composition du liquide qui, par la grande déliquescence de la matière, sort spontanément du nitre jaune. — Ce nitre est beaucoup plus déliquescent que le salpêtre naturel blanc ordinaire. Les échantillons que M. Willams m'envoya l'hiver dernier par un temps humide arrivèrent à Santiago complètement mouillés, produisant une matière liquide jaune, dont j'ai pu recueillir environ 56 centimètres cubes pour en faire l'analyse. Ce liquide avait une légère odeur iodique, une couleur d'un jaune plus intense que celle d'une dissolution du minéral, une réaction alcaline faible. Le papier à écrire dans lequel se trouvaient enveloppés les échantillons était presque imperméable à la liqueur qui en sortait.

Vingt et un centimètres cubes de ce liquide pesant $29^{gr},89$, traités par l'acide sulfureux et par le nitrate de palladium, m'ont donné $0^{gr},243$ en iode ce qui correspond à $0^{gr},39$ d'iodate de soude; 32 centimètres cubes de même liquide, évaporés à sec, transformés en chlorures, et ensuite traités par l'alcool, ont produit $0^{gr},034$ d'oxyde de chrome, équivalant à $0^{gr},0445$ d'acide chromique et $0^{gr},066$ de chromate de soude. En rapportant ces chiffres au même volume de la liqueur, on voit que la proportion dans laquelle s'y trouvent le chromate et l'iodate ne s'éloigne pas beaucoup de celle que gardent ces deux sels, l'un par rapport à l'autre, dans le nitre que j'ai analysé.

Historique. — M. Raimondi, auteur d'un excellent ouvrage sur les minéraux du Pérou (Lima, 1878), est le premier qui ait reconnu la présence d'acide chromique dans les salpêtres de la province de Tarapaca, et il proposa

de donner au chromate contenu dans ces salpêtres le nom de *tarapacaïte*. Deux ans après la publication de l'ouvrage de Raimondi, mon ancien élève, actuellement ingénieur des mines à Iquique, don Ernesto Willams, ayant eu l'occasion d'étudier en place le gisement du nitre jaune et d'en choisir les meilleurs échantillons, a fait plusieurs essais et analyses sur des fragments fraîchement extraits, qui portaient, quoique superficiellement, des taches rouges, et la masse même intérieurement était d'un jaune rougeâtre. Ces fragments choisis lui donnèrent jusqu'à onze millièmes de leur poids en oxyde de chrome. En général, ces salpêtres, comme je viens de noter, s'appauvrissent bien vite en chromate et en iodate, étant exposés à l'air humide, et peut-être pourrait-on extraire la majeure partie de ces sels en gardant le minerai trié en tas, dans des lieux convenablement disposés.

M. Willams fait observer que le salpêtre jaune se trouve ordinairement sur les pentes des montagnes, vers la partie inférieure des grands dépôts de salpêtre, au voisinage des roches sur lesquelles ils reposent. M. Raimondi cite la présence de chromate de plomb dans les gîtes métallifères du Cerro de Pasco, mais on n'a pas encore découvert de fer chromé ni la moindre trace de chrome dans les Cordillères pérou-boliviennes et du Chili.

Huantajaïte. — La huantajaïte est un chlorure de sodium argentifère provenant des mines d'Huantajàya, province de Tarapaca.

On doit la connaissance de cette espèce minérale à M. Raimondi, qui a été le premier à la décrire et l'analyser. Ce même minéral et son gisement ont été l'objet d'une étude spéciale de la part de l'ingénieur chilien M. Willams, qui vient de visiter les mines de Huantajàya et à qui je dois les échantillons de huantajaïte que j'ai eu le plaisir d'envoyer au Muséum et à l'École des mines de Paris.

Ce minéral cristallise en cubes, mais on le trouve ordinairement amorphe, cristallin, translucide ou diaphane, incolore et d'un vif éclat vitreux ; il tapisse presque toujours l'intérieur des petites fentes et des cavités, au milieu d'une gangue argileuse dans laquelle on le rencontre aussi disséminé, ou formant des veinules très irrégulières. Le caractère essentiel de ce minéral, celui qui sert aux mineurs à le reconnaître, et auquel il doit le nom de *lechador* (*leche* signifie lait), consiste en ce que, si on l'humecte, il perd immédiatement son éclat, sa transparence et devient blanc comme du lait, augmentant en même temps de volume et prenant l'aspect de chlorure d'argent récemment précipité. On le trouve quelquefois associé au chlorobromure vert, et à l'iodure jaune d'argent. Prenant le terme moyen de trois analyses, M. Raimondi a donné pour la composition de ce minéral : chlorure d'argent 11, chlorure de sodium 89, (environ 20 NaCl+AgCl).

Mes analyses exécutées sur plusieurs échantillons que je dois à M. Willams et qui ne présentaient pas à la simple vue la moindre trace d'embolite ni d'iodure d'argent, — voici les résultats auxquels j'arrive.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Chlorure de sodium.	1,696	1,17	1,60	0,702	3,56	0,085
Chlorure d'argent	0,052	0,07	0,05	0,023	8,19	0,005
Proportion que renferme le chlorure double en chlorure d'argent	3,24 p. 100	5,6	3,1	3,1	5,1	5,5

(1) Veinule cristalline, pure, de 2 millim., accompagnée d'un peu de sulfate de chaux ; (2) cristallin, trace de cristaux cubiques ; (3) amorphe, fibreux, grisâtre, de la partie la plus pure de l'échantillon ; (4) du même échantillon que le précédent, seulement de la partie mélangée de la gangue, et laissant près de moitié de son poids de matière insoluble dans l'eau et dans l'ammoniaque ; (5) quelques petits cristaux cubiques engagés dans une masse cristalline ; la gangue très chargée de carbonate de chaux, verdâtre, traces de matière cuprifère ; (6) translucide, d'un blanc laiteux légèrement violacé, remplissant l'intérieur d'une cavité. — Ce sont aussi les principales variétés de ce minéral que je connaisse.

Voici maintenant quelques détails que me fournit M. Willams sur le gisement de huantajaïte.

Les mines de Huantajaya se trouvent à une dizaine de kilomètres à l'est du port de Iquique et à peu près à mille mètres d'altitude, dans la chaîne des Cordillères de la côte (Cordillère maritime). Le terrain qui renferme ces mines appartient à une des périodes de l'époque jurassique, et l'on voit dans la région supérieure de la montagne trois couches distinctes, de puissance variable, inclinées, faisant un angle d'environ 25° avec l'horizon. La *première* de ces couches, qui a 2 à 6 mètres de puissance, est composée de schistes argileux, gris, qui se divisent en plaques parallèlement au système de stratification ; la *seconde* est d'un calcaire noir, à cassure compacte, fossilifère ; la *troisième* est formée de roches compactes, tenaces, inattaquables par les acides, se colorant en rouge, ou devenant ocracées au contact de l'air. Les filons qui traversent ces trois couches acquièrent ordinairement une certaine richesse dans la *seconde* et deviennent stériles dans celle d'en bas qui est la *troisième*. Au-dessous de cette dernière on voit un porphyre argileux qui paraît être la masse soulevante de la montagne.

Maintenant tout ce système de couches se trouve couvert d'une masse, d'épaisseur variable, de *détritus*, composés de fragments des roches des trois couches précédentes, et ces fragments, agglutinés par un ciment calcaire, forment des conglomérats, pénétrés ordinairement de matières salines. Or c'est dans cette région supérieure de conglomérats fendillés en tous sens, souvent poreux ou caverneux, perméables à l'eau, que se trouve le *lechador*, chlorure de sodium argentifère. Il paraît que les filons qui traversent les couches ci-devant mentionnées ne renferment dans la partie la plus rapprochée de ces conglomérats que du sulfure d'argent, accompagné parfois de chlorure d'argent, et dans leur région inférieure, du carbonate de plomb et de la galène.

En résumé, la coupe générale que M. Willams donne

pour le terrain de Huantajàya et qu'il a prise sur les escarpements de la mine de San Simone, se compose :

1° Des conglomérats salifères, passant aux roches schistoïdes de la première couche : *gisement de lechador ;*

2° *Manto pintador*, qui enrichit les filons ; roches calcaires fossilifères : sulfure, chlorure d'argent ;

3° *Manto broceador*, roches compactes ferrugineuses : les filons deviennent stériles ;

4° Masses porphyriques amphiboliques : région tout à fait stérile.

D'après ces données on est porté à admettre que la *huantajaïte* (*lechador* des mineurs) doit provenir de l'action des sources thermales salées, qui ne sont pas rares dans ces Cordillères, sur le sulfure d'argent des filons, et à l'aspiration du chlorure d'argent dissous dans l'eau salée par la masse poreuse et fendillée des conglomérats qui recouvre la montagne.

C'est aussi l'opinion de Raimondi et de Willams. Seulement cette explication ne serait pas tout à fait d'accord avec les résultats des expériences de Durocher et Malaguti qui démontrent que l'eau saturée de sel à 10° ne dissout que 0,0017 de son poids de chlorure d'argent ; qu'à 18° elle en dissout 0,0024, et à 100° 0,0068, ce qui s'écarte beaucoup de la proportion dans laquelle se trouve le chlorure d'argent dans la huantajaïte.

Santiago, 13 décembre 1880.

NOTICE

SUR LES PROGRÈS DE LA MINÉRALOGIE
DU CHILI, DE LA BOLIVIE, DU PÉROU
ET DES PROVINCES ARGENTINES (*)

Par M. DOMEYKO.

Traduction, par extraits, par M. Louis ZEGERS.

Les deux premières éditions de mes *Éléments de minéralogie*, qui ont servi de texte à l'enseignement de cette science dans les établissements d'instruction publique de Coquimbo, de Copiapo et de Santiago, étant épuisés, j'ai cru devoir publier une troisième édition. Elle contient la description de toutes les espèces minérales connues jusqu'à ce jour au Chili et dans les trois républiques voisines.

Cet ouvrage sera principalement consulté avec fruit par les ingénieurs et les naturalistes qui s'intéressent aux mines de ces contrées, si célèbres par leurs richesses minérales. Il est plutôt destiné à ce but qu'à servir à l'étude complète de la minéralogie générale. Je vais faire connaître quels sont les ouvrages que j'ai dû consulter pour le composer.

Chili. — Le premier essai sur la minéralogie du Chili, que nous devons à l'illustre Molina, ne comprend que quelques espèces minérales, les plus communes et les plus abondantes. A cette époque, la minéralogie se bornait à l'étude des caractères extérieurs des minéraux et à la con-

(*) Cette notice forme l'*Introduction* à la troisième édition du *Traité de minéralogie* de M. Domeyko, Santiago, 1879.

naissance des seuls produits métalliques, des sels ou des pierres gemmes les plus employés dans l'industrie. Les naturalistes qui, au commencement de ce siècle, ont visité l'intérieur du Chili en ont plus étudié la géologie que la minéralogie. Claude Gay n'a rien publié sur les minéraux dans son grand ouvrage l'*Histoire physique et politique du Chili*.

Jusqu'alors on ne citait de ce pays, dans les traités de minéralogie des plus complets, que deux ou trois espèces minérales, par exemple l'*atacamite*, analysée par Proust et Klaproth, et l'*argent corné*, que l'on considérait alors comme entièrement chloruré.

Les minéraux du Chili ont d'ailleurs un caractère particulier qui fait que leur étude offre beaucoup de difficultés : les minéraux cristallisés et de composition fixe y sont très rares; ils appartiennent à des espèces très variées, mais le plus souvent amorphes et d'une composition complexe, où des éléments souvent fort imprévus se trouvent combinés ou intimement mélangés en proportions variables. De là de grandes difficultés dans l'étude.

Mes premières excursions aux mines et Cordillères des provinces de Coquimbo et d'Atacama, ainsi que mes premières recherches analytiques sur les minerais recueillis pendant ces voyages datent de mon arrivée au Chili en 1838. Voici le résultat de mes études pendant les huit premières années de séjour à la Serena.

En 1840, j'ai donné la description de l'*arquérite* (amalgame natif) ; et à la même époque ont été publiés mes mémoires sur les minerais d'argent du nord du Chili et sur les minerais de cuivre oxysulfurés. Plus tard, en 1843, j'ai analysé et décrit les espèces suivantes : 1° l'arséniure de cuivre de Calabozo et de San Antonio; 2° les sulfures doubles d'argent et de cuivre de Catemo et de San Pedro Nolasco, composés, en proportion variable, des sulfures isomorphes AgS et Cu^2S; 3° la *cuproscheelite* de Llamuco.

Dans la même année, mon illustre maître Berthier re-

connut la présence du brôme dans l'argent corné de Chanarcillo, que j'avais envoyé à l'École des mines de Paris. Il m'indiqua la méthode la plus sûre pour analyser cette classe de minerais au moyen de l'ammoniaque et du sulfhydrate d'ammoniaque. En employant cette méthode, j'ai reconnu, dans les mines de Chanarcillo et Agua-Amargua, des minerais d'argent chloro-bromurés très variés dans leur composition, et j'ai découvert pour la première fois de l'iodure d'argent à Algodones.

Outre la description de ces espèces, les plus intéressantes du Chili, j'ai fait connaître en même temps : 1° les caractères de l'argent bismuthal de San Antonio (Copiapo), nouveau minéral spécial au Chili ; 2° la composition de l'or des lavages de différentes parties du Chili et particulièrement celui d'Andacollo et de Casuto ; 3° la composition du cuivre gris mercurifère de Punitaque et de Illapel pour l'analyse duquel j'ai fait usage d'une méthode particulière de détermination du mercure par la litharge ; 4° la composition et les caractères de la substance amorphe rouge qui se trouve associée au cuivre gris mercurifère, et à laquelle Dana a donné le nom d'*amiolite* : je trouvai que ce minéral rouge, compagnon constant du cuivre gris, était composé d'un antimoniate anhydre de cuivre et de sulfure de mercure.

Avant de me séparer de mon laboratoire de la Serena, j'ai eu la chance de découvrir dans la mine *Grande* (estancia de la Marquesa) des vanadates de plomb et de cuivre, qui jusqu'à présent n'ont été rencontrées dans aucune autre partie du Chili.

Toutes ces espèces et beaucoup d'autres silicatées (analyses de divers feldspaths, zéolithes et autres silicates du Chili, recueillis pendant mes voyages géologiques en 1839 et 1845) se trouvent comprises dans la première édition des *Éléments de minéralogie*, que j'ai écrits pour l'usage de mes élèves de la Serena, et qui ont été imprimés en 1845 dans cette ville.

L'année suivante (1846), j'ai eu à transporter ma résidence à Santiago, et de là, après une courte interruption, j'ai continué mes recherches chimico-minéralogiques dans le laboratoire de l'Institut national, où, avec l'aide de mes anciens et nouveaux élèves, j'ai pu analyser diverses espèces nouvelles de minerais du Chili et de Bolivie, dont quelques-unes avaient été découvertes antérieurement, et qui provenaient de diverses localités. Parmi les minerais qui ont été découverts et analysés pendant mes premières années de résidence à Santiago se trouvent les amalgames natifs de los Boldos et de la Rosilla, l'eukairite de Flamenco, l'argent bromuré et ioduré du Delirio et de la Constancia de Chanarcillo, la polybasite de Tres Puntas, divers arséniures de cobalt et de nickel, des fers titanés, etc.

A cette époque (1850-1860), M. Field, directeur de la fonderie de cuivre établie aux environs de Coquimbo par la compagnie Alison, fit l'analyse de divers minerais de la province de Coquimbo. Parmi les intéressants et nombreux travaux minéralogiques publiés par Field, actuellement membre de la Société royale de Londres, je dois citer l'analyse et la description de la *guayacanite* de Elqui; c'est une espèce de cuivre gris arsenical qui porte le nom de énargite, semblable au cuivre gris que j'ai décrit pour la première fois en 1845, dans la première édition de ma Minéralogie (page 134), et qui depuis s'est rencontré dans diverses parties du Chili et de la république Argentine; — la description et l'analyse de l'*algodonite*, arséniure de cuivre, semblable à la whitnéite; de la *huascolite*, galène zincifère; du *tagilite*, phosphate de chaux et de cuivre de Tambillos; de l'*alisonite*, galène cuivreuse, et de divers autres minéraux du Chili.

Tous les minéraux du Chili que je viens d'énumérer, et qui ont été découverts et analysés jusqu'en 1860, se trouvent compris dans la deuxième édition de mes *Éléments de minéralogie*, imprimés à Valparaiso en 1860. A cette se-

conde édition, j'ai ajouté l'ensemble des principales espèces minérales qui constituent la *minéralogie du Chili et des républiques voisines.*

Depuis 1860, j'ai ajouté à cette *Minéralogie* et publié, dans les *Annales de l'Université du Chili*, une série de suppléments comprenant le résultat de mes recherches postérieures, et surtout :

Dans le premier supplément : sur la psilomélane de Lilen, la *somervilla* de Coimas, la calcite de San Lorenzo, ainsi que sur des minerais de nickel arsenical d'Atacama.

Dans le second supplément : sur la météorite de la sierra de Chaco (Quebrada de Vaca Muerta ou de Cachinal) ; la Schéelite de Coquimbo (Talca) ; le fer titané de Magallanes; l'arséniure de cobalt et de nickel argentifère de Copiapo; la *Danaïte* de San José; le cuivre résinite cobaltifère d'Atacama et manganésifère de Canales; la *tannénite* du Cerro Blanco; la *cacheutite* (polyarséniure) de Cacheuta; la *schwartzenbergite* du désert d'Atacama; la *fluorapatite* de Bolivie; l'*hydrodolomite* de Herradura (Coquimbo) ; le grenat ferrifère de Copiapo, les kaolins.

Dans le troisième supplément : sur le cuprotungstate et la cuproschéelite de Peralillo (Santiago) ; l'axotome de Chanarcillo; le cuivre résinite antimonial; la *nantoquite* de Copiapo; la *tocornalite* de Chanarcillo; le sulfure de cuivre et de bismuth du Cerro-Blanco; la *nitro-glaubérite* d'Atacama ; l'alunite de Potosi; l'halloysite de Cachiyuyo.

Dans le quatrième supplément : sur le sulfate de fer de Tierra Amarilla; le cobalt noir de San Juan; de l'oxyarséniure de cuivre de Tiltil; l'argent sélénié et sulfuré mercurifère de Caracoles; l'argent bleu (chloro-sulfuré) de Caracoles; le *panabase* argentifère de Huanchaca; l'*ulexite* de la Ola et de Maricunga; la *chloroapatite* d'Atacama; le trachytes du Descabezado, etc.

Dans le cinquième supplément : sur les météorites de Cachiyuyal et de Mejillones; la covelline; la kronnkite et

la phillipsite; l'argent mercurifère chloro-ioduré de Caracoles; la *hessite* et l'*altaïte* de Condorriaco; l'argent antimonial du Carrizo; la stéphanite de Chanarcillo; l'arsénio-antimoniate de las Condes.

Dans le sixième supplément : sur la Dufrénoyite de Freirina; l'aragonite manganésifère et le cuivre épigénique de Corocoro; le massicot de Corocoro; la *Daubréite*, la *bolivite*, la *bismuthite* et la *taznite* de Tazna et Chorolque; le charbon des filons de Caracoles et de Tiltil.

Chacun de ces suppléments comprend quelques minéraux nouveaux qui ont été découverts en même temps au Pérou et dans les provinces Argentines, dont quelques-uns ont été analysés à Santiago, mais dont la majeure partie ont été analysés et décrits par les chimistes étrangers.

En effet, la minéralogie du Chili se trouve enrichie d'un grand nombre de travaux analytiques et cristallographiques de plusieurs minéralogistes et chimistes de cette époque; parmi ces travaux, je dois citer les suivants :

H. Rose a analysé et décrit les caractères minéralogiques de la *coquimbite* et de la *copiapite;* Breithaupt a donné l'analyse de la chiléite, et Plattner celle de divers cuivres gris, du *glaukodot*, de la bornite; des Cloizeaux a fait connaître la forme cristalline de l'iodite; Streng celle de la proustite, de la pyrargyrite et de la pyrostilpnite de Chanarcillo; Daubrée, Damour, Meunier ont fait l'étude des météorites d'Atacama; Friedel a découvert, analysé et décrit l'Adamine de Chanarcillo; von Kobell a analysé une des variétés les plus intéressantes de la *brochantite* de Paposo; le docteur D. Fr. A. Moesta a publié un intéressant travail minéralogique sur les minerais d'argent chloruré, bromuré et ioduré (Marbourg, 1869); Lawrence Smith a publié aussi une notice sur les minerais et sur les eaux minérales du Chili dans le deuxième volume de la *Naval Astronomical Expedition* (Washington, 1854).

Quant aux gisements et aux caractères géologiques des

minerais chiliens et aux terrains et roches dans lesquels ils se trouvent, personne n'en a fait une étude plus approfondie que M. Pissis. Il a publié à cet égard des renseignements dans les descriptions partielles des provinces de Santiago, Valparaiso et Colchagua (1854, 1856, 1860) et dans sa Géographie physique (1875, page 173). Sa grande carte du Chili sera toujours extrêmement utile aux naturalistes qui poursuivront l'étude de la minéralogie du Chili.

On doit au voyageur Forbes un essai concis sur le gisement des divers mines qu'il publia dans ses recherches sur la minéralogie de l'Amérique méridionale. Forbes fit une liste assez complète des espèces minérales du Chili connues en 1860, qu'il classa par groupes en prenant pour base les divers terrains auxquels elles appartiennent; il signale particulièrement ceux qui se trouvent dans les roches, filons ou veines qui traversent les diverses formations indiquées par les noms de postcrétacée, postoolithique, postsilurienne et prédévonienne.

Dans un travail spécial, que j'ai publié à l'occasion de l'Exposition internationale de Santiago en 1875, sous le titre de : *Essais sur les dépôts métallifères du Chili* (Santiago, 1876), j'ai cherché à traiter d'une manière plus étendue la question du gisement des minéraux métalliques du Chili.

PÉROU. — Nos études sur la minéralogie du Pérou n'ont pas été moindres que sur celle du Chili ; ce pays offre, à peu d'exceptions près, les mêmes espèces minérales que le Chili. Au commencement de ce siècle, se fit connaître comme minéralogiste le compagnon de Humboldt et de Boussingault, M. M. de Riveros, dont les notices sur les minerais d'argent de Pasco et de Gualgayoc et sur leur traitement métallurgique se trouvent dans la revue périodique publiée à Lima en 1828. Mais les connaissances minéralogiques que nous possédons actuellement sur le Pérou sont

dues principalement aux innombrables travaux chimico-minéralogiques du célèbre Raimondi, à ses pénibles voyages aux mines des Cordillères péruviennes et aux ouvrages importants qu'il a publiés.

On comprend difficilement comment un naturaliste à lui seul a pu entreprendre et exécuter une si vaste étude. Rien que dans son ouvrage sur le département d'Ancachs, Raimondi présente plus de 500 échantillons de minerais décrits, dont le plus grand nombre ont été analysés ou essayés pour argent ou pour un autre métal utile, et dans le livre sur les *Minéraux du Pérou*, il présente 652 échantillons de la minéralogie péruvienne. Parmi les plus importants, dont les espèces nouvelles ont été analysées par Raimondi, je citerai la *huantajaïte* (chlorure de sodium d'argent cristallisé) de Huantajaya, dans la province de Tarapaca; un cuivre gris antimonieux qui contient de 12 à 13 p. 100 d'argent et de 9 à 13 p. 100 de plomb, et qui porte le nom de *malinowskite* donné par l'auteur; une autre espèce non moins intéressante de cuivre gris arsénio-antimonial stannifère (panabase stannifère de Tambillo, analysée par le docteur Rubé, page 233), qui contient 14,4 p. 100 d'étain; un polysulfure de bismuth, plomb, fer, antimoine, appelé *chiviatite*; diverses variétés amorphes d'antimoniate et arsénio-antimoniates de plomb ou de cuivre et des minerais de plomb argentifères; une galène sur-sulfurée, etc. Dans cet ouvrage Raimondi signale divers faits très intéressants pour la connaissance de la minéralogie du Pérou, entre autres l'association constante des minerais antimonieux avec l'argent; la présence du chrome dans le salpêtre de Tarapaca, celle du chlorure de potassium et du nitrate de potasse dans les terres où se le salpêtre (Salitrosas).

G. Plücker, ancien élève de l'école de Freiberg, a aussi contribué énormément à la connaissance du règne minéral du Pérou : c'est à lui que l'on doit la découverte de di-

verses espèces minérales, particulièrement celle de la *sandbergite* (un cuivre gris arsénio-ammoniacal) analysé par Morbach; celle de la *mégabasite* (blumite) analysée par Plattner, ainsi que les découvertes de la *polybasite* de Morocha, si remarquable par ses belles formes cristallines, d'un sulfure double d'argent et de bismuth ($AgBiS^2$) analysé par Rammelsberg, nommé *silberwismuthglanz*, et d'un sulfure double de plomb et de zinc cristallisé ($PbZnS^2$). Toutes ces espèces furent trouvées par Plücker dans les mines d'argent de Morococha, où il poursuit ses recherches, tout en dirigeant d'importants travaux d'exploration dans la région des Andes du Pérou.

Provinces argentines. — Le vaste territoire argentin comprend principalement deux systèmes distincts de montagnes dont on connaît la minéralogie; l'un d'eux, celui qui embrasse les pentes orientales des Andes, de Mendoza, de San Juan et de la Rioja, produit des espèces minérales semblables à celles du Chili, mais on y remarque la même rareté de minéraux cristallisés qu'au Chili; le second se compose de chaînes de montagnes (cerranias) de Cordova et de San Luis qui se prolonge au nord en Catamarca et Tucuman. Dans ce système on trouve des minéraux de columbium, de cérium et de lanthane qu'on n'a pas encore rencontrés de ce côté-ci des Andes; on y trouve en même temps en plus grande abondance des minéraux cristallisés, comme le béryl, le spinelle, la linarite; d'autres, comme la triplite, qui contient des proportions notables de fluor; et ce qui caractérise peut-être encore davantage la chaîne de Cordova, ce sont les masses de calcaires grenus, les marbres qui alternent avec les schistes cristallins appuyés sur les granites; c'est dans ces calcaires que Stelzner trouva beaucoup de minéraux cristallisés.

C'est au docteur Stelzner, actuellement professeur à Freiberg, et à son compagnon Siewert, tous deux anciens

professeurs à l'Université de Cordova, qu'on doit la connaissance exacte du plus grand nombre des espèces minérales qui ont été rencontrées jusqu'à présent dans les deux systèmes des montagnes argentines.

Le professeur qui est actuellement à Cordova, le docteur D. L. Brackebusch, continue avec succès les recherches minéralogiques commencées par Stelzner, et il existe des travaux non moins intéressants de MM. Schikendanz, Ave Lallemant, Kile, Puiggavi, Arata et Huenikên sur les minéraux argentins.

La description la plus complète des minéraux que le docteur Stelzner a recueillis pendant ses longs voyages minéralogiques et géologiques dans les différentes provinces argentines, se trouve dans la troisième livraison de ses *Notices minéralogiques*, publiées en 1873. Dans cette publication Stelzner décrit : 1° les minéraux suivants qui ont leur gisements dans les masses granitiques de la chaîne de Cordova : le béryl, la fluorapatite, la triplite, avec leurs analyses par Siewert ; 2° les calcaires grenus, les marbres et les espèces minérales trouvées dans ces masses, qui sont : le quartz, l'orthose, la hornblende, le mica magnésien, le sphène, le grenat, l'épidote verte, la coccolite, la scapolite, la wollastonite, la chondrodite, analysés par Siewert, le spinelle, la malachite, le spath calcaire ; 3° l'énargite et la famatinite de Famatina ; ce dernier minéral est une nouvelle espèce de cuivre gris arsenical. L'énargite, dans laquelle une partie de l'arsenic se trouve remplacée par l'antimoine, a été découverte par le docteur Stelzner et analysée par Siewert ; elle est remarquable par son vif éclat et sa structure fibreuse ; 4° un cas de pseudomorphisme de l'argent natif en chlorure d'argent ; 5° la jamesonite argentifère de la chaîne de Famatina, analysée par Siewert ; 6° la linarite de la chaîne de Capillitas ; 7° la stromeyerite de la Hoyada ; 8° un cas

très intéressant des formes cubiques pseudomorphiques de sel gemme dans le grès de la chaîne d'Angulos.

On trouve aussi dans les *Actes de l'Académie des sciences exactes de l'Université de Buenos-Ayres* (1875) un travail de M. Frédéric Schickendaur sur les sulfates naturels des provinces argentines.

Mais le travail qui sans doute contribuera le mieux à la propagation des connaissances minéralogiques dans la République Argentine est celui que le docteur Louis Brackebusch est en train de publier dans les *Annales de la Société scientifique argentine*, à Buenos-Ayres, et dans lequel se trouve le résumé des espèces minérales découvertes jusqu'à présent dans la Confédération Argentine. L'auteur donne pour chaque espèce ses caractères, son analyse, la localité où on la trouve, son gisement, et l'utilité qu'elle peut offrir pour les arts.

Tous les ouvrages, revues scientifiques et mémoires que je viens de signaler pour la connaissance de la minéralogie du Chili, de la Bolivie, du Pérou et de la République Argentine, comprennent des descriptions plus complètes et plus détaillées que celles de mon livre, car j'ai dû me borner à signaler de la manière la plus concise les caractères essentiels des espèces minérales de l'Amérique du Sud en regard des mêmes espèces appartenant à d'autres parties du monde.

Santiago, le 1er décembre 18[illegible].

DISCOURS
PRONONCÉS AUX FUNÉRAILLES
DE M. BONNEFOY,
INGÉNIEUR DES MINES,

Le 1er juin 1881.

Le Corps des mines, déjà cruellement éprouvé par la mort tragique de M. Roche, vient encore d'être frappé dans un de ses plus jeunes membres, M. Bonnefoy, tué le 28 mai par une explosion de grisou dans les mines de Champagnac.

Averti qu'un coup de feu survenu dans ces mines venait de coûter la vie à un ouvrier, Bonnefoy était immédiatement parti pour Champagnac, et, arrivé le soir sur les lieux, il descendait dans la mine vers 9 heures, accompagné de l'ingénieur directeur des travaux, M. Dautheville, d'un ingénieur belge, M. Schmidt, venu pour surveiller l'installation de fours à coke, et de deux des maîtres-mineurs de la mine. Tous étaient munis de lampes Mueseler. A peine était-on arrivé sur le lieu de l'accident et avait-on commencé à procéder aux premières constatations que, par suite de circonstances encore inexpliquées, une explosion de gaz se produisait, brûlant grièvement les cinq personnes rassemblées sur ce point : Bonnefoy et les deux maîtres-mineurs étaient tués sur le coup ; les deux autres ingénieurs ne devaient survivre que peu de jours à leurs blessures.

Averti par dépêche du coup terrible qui le frappait, le père de Bonnefoy accourait à Clermont et partait pour

Champagnac, afin d'en ramener le corps de son malheureux fils, accompagné dans ce douloureux voyage par un des camarades de celui-ci, M. Boutteville, ingénieur des ponts et chaussées. Sur l'initiative de M. Gaillard, maire de Clermont, ancien élève de l'École polytechnique, et sous la direction de M. Lemaire, ingénieur en chef des ponts et chaussées, tous les anciens élèves de l'École polytechnique résidant à Clermont organisaient un service funèbre, qui fut célébré le 1er juin à l'église de Saint-Genès-les-Carmes. Les élèves de l'École des mines, venant faire en Auvergne une excursion géologique, pour laquelle Bonnefoy s'était offert à servir de guide, étaient arrivés à Clermont la veille de la cérémonie, et y apportaient, au nom de l'École, le tribut des regrets que laisse à tous ses camarades ce jeune ingénieur ainsi frappé dans l'accomplissement de son devoir professionel.

A l'issue du service, au moment où le convoi rentrait à la gare du chemin de fer, M. Tournaire, inspecteur général du contrôle des chemins de fer de l'État, venu pour la reconnaissance du chemin de fer de Clermont à Tulle, et M. l'inspecteur général de Chancourtois, qui dirigeait la course de l'École des mines, ont prononcé les paroles suivantes.

DISCOURS DE M. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL TOURNAIRE.

Messieurs, avant de nous séparer de ce qui reste ici-bas de notre jeune et aimable camarade, mon successeur, après un long intervalle, dans le poste de Clermont, et l'un des collaborateurs de mon service actuel, je viens, en notre nom commun, lui adresser nos suprêmes et bien pénibles adieux.

La mort est surtout cruelle quand elle est si imprévue

et qu'elle fauche, pour nous les enlever contre les lois ordinaires, de si heureux dons naturels et les meilleures promesses de l'avenir.

Que Bonnefoy fût aimé et estimé des jeunes hommes de son âge et dans l'intimité de qui il vivait, leur présence à ce convoi en si grand nombre, les soins touchants que plusieurs d'entre vous avez pris de ses funérailles et de son cercueil, pieusement veillé toute cette nuit, en témoignent plus que ne pourraient le faire mes paroles.

A nous, ses chefs, qui le voyions moins souvent et l'appréciions surtout par ses œuvres, il nous avait inspiré une véritable affection. Toutes les questions qu'il avait à traiter étaient aperçues par lui avec une vue très nette et un excellent jugement. Il ne s'épargnait aucune peine pour les étudier à fond et les exposait avec talent. Sa modestie, si sincère et si simple, rehaussait son mérite. Son zèle l'avait poussé à se faire attacher à la Carte géologique détaillée de la France, et il avait reçu la mission de préparer la feuille de Clermont; c'était un grand et long labeur qui ne pouvait être mieux confié. Vous avez su avec quelle ardeur et quel plaisir il parcourait, le marteau à la main, cette belle contrée et ces curieuses montagnes de l'Auvergne.

Il a succombé, comme au champ de bataille, victime de son devoir professionnel et de sa ferme volonté de n'en rien omettre. Hélas! après un tel événement, on désirerait qu'elle eût été moins scrupuleuse; mais il se refusa à différer cette funeste visite aux mines de Champagnac, motivée par une constatation d'accident, bien qu'elle contrariât ses projets et que d'autres obligations de service, auxquelles il était appelé en même temps, en eussent rendu le retard légitime.

Notre pensée s'est souvent portée sur son respectable père dans ce voyage de douleur qu'il a fallu précipitamment entreprendre. Rien assurément ne pourra remplir le vide que ce fils laisse en son cœur. S'il était des consolations

en des circonstances si dures, elles se trouveraient dans ces regrets universels qui accompagnent les siens.

Adieu, cher Bonnefoy, votre mort, malgré votre jeunesse, peut-être devrais-je dire en partie à cause d'elle, laissera parmi nous et dans cette ville une trace longue et profonde.

DISCOURS DE M. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DE CHANCOURTOIS.

Messieurs, Marcel Bonnefoy, qui vient de périr à vingt-sept ans, dans l'accomplissement de l'un des devoirs les plus importants de ses fonctions d'ingénieur du corps des mines, était sorti le premier de l'École polytechnique en 1875.

Né auprès de Paris, il était complètement étranger à la ville de Clermont, lorsqu'il y fut appelé il y a deux ans; mais aux témoignages d'intérêt particulier dont il est l'objet, à l'émotion générale qui s'est manifestée pendant cette triste cérémonie, on voit bien que par ses qualités personnelles il y avait déjà conquis le droit de cité. Les membres de la grande famille polytechnique, si éminemment représentée à Clermont où elle a la bonne fortune de compter dans ses rangs le maire de la ville, l'avaient d'ailleurs accueilli avec leur bienveillance habituelle. Dans un élan commun, tous ont voulu, avant l'arrivée de son malheureux père, préparer les honneurs funèbres de ce dernier départ vers la terre natale. L'École des mines se trouvant de passage à Clermont, ses jeunes camarades viennent en habit de travail se joindre au cortège, et comme son plus ancien maître, au nom de toute l'École, je dois à mon tour rendre hommage à sa mémoire.

La courte carrière de Bonnefoy a été bien remplie. Les mémoires sur les terrains schisto-cristallins et les gîtes de

minerais subordonnés où il avait consigné les résultats de ses voyages d'étude en Bohême et en Scandinavie ont été jugés dignes d'être insérés dans les *Annales des mines* (*). Il nous avait donné des preuves de sa vocation particulière pour la géologie, en Auvergne même, dans la dernière excursion à laquelle il avait pris part comme élève en 1878 et dont l'intérêt avait déterminé le choix qu'il avait pu faire de la résidence de Clermont. Mais on pouvait à tous égards lui prédire un brillant avenir.

En venant dernièrement nous offrir ses services pour le renouvellement de l'excursion périodique d'Auvergne, il nous annonçait que, malgré les exigences administratives d'un service fortement et diversement chargé, il avait pu préparer déjà pour la Carte géologique détaillée de la France une contribution notable, et nous comptions mettre à profit les résultats de ses explorations sur plusieurs points où il souhaitait vivement nous guider.

Une lettre, la dernière peut-être qu'il ait écrite, m'informait de l'accident qui l'appelait à Champagnac, et de l'espoir qu'il conservait de nous rejoindre en temps utile. Il comptait d'ailleurs prendre part au voyage du train d'essai sur la ligne de Clermont à Tulle dont le contrôle lui était réservé.

Hélas! ces projets ne sont plus que de douloureux souvenirs!

On n'a pas encore de détails sur le désastre. On sait seulement qu'avec Bonnefoy ont été tués, par ce nouveau coup de grisou, MM. Lafond, chef mineur, et Dumas, chef boiseur, et que MM. Dautheville, ingénieur de la mine, et

---

(*) *Mémoire sur la géologie et l'exploitation des gîtes de graphite de la Bohême méridionale. — Mémoire sur les gîtes et le traitement des minerais de nickel en Norvège.* Le premier de ces mémoires a seul pu être inséré dans les *Annales* (1er vol. de 1879, p. 157); le second devait être l'objet de remaniements que M. Bonnefoy n'avait pas encore eu le temps d'effectuer.

Schmidt, ingénieur auxiliaire de la compagnie, sont grièvement blessés.

Ce n'est pas dans la capitale d'une région où les aptitudes scientifiques et techniques sont généralisées comme par héritage naturel du plus glorieux passé qu'il est nécessaire de rappeler tous les périls de l'exploitation des mines.

Chargé d'abord de veiller au maintien des précautions que l'habitude journalière, et par suite le mépris du danger, tend à faire négliger par les travailleurs, l'ingénieur du gouvernement doit, en cas d'accident, aller présider au sauvetage et procéder à l'appréciation des causes.

C'est souvent alors que les périls s'aggravent et que la lutte du mineur contre les difficultés naturelles devient un véritable combat. Nous pouvons donc dire, à titre d'encouragement plus encore que de consolation pour les survivants et d'adoucissement, s'il en est un, à la cruelle douleur de ses parents : Bonnefoy est mort au champ d'honneur !

LES LIGNITES
DANS LE NORD DE LA BOHÊME

Par M. Charles LALLEMAND, ingénieur des mines.

INTRODUCTION.

La découverte du lignite en Bohême remonte au delà du XVII[e] siècle. Les premières concessions en furent faites les 23 août 1556 et 30 janvier 1571, par l'abbé Balthazard d'Osseg, propriétaire foncier, à quelques habitants de Komotau qui venaient d'y établir une fabrique d'alun.

Plus tard, l'empereur Mathias, par une charte authentique datée du 22 novembre 1613, accorda à Hans Weidlich, bourgeois de Brüx, un privilège de quinze années pour l'extraction de la « houille » (*) dans les terres impériales et dans celles du parlement de Bohême, aux environs de Brüx. Mais la guerre de trente ans vint ruiner les quelques exploitations qui s'étaient créées.

Ce n'est que vers le milieu du XVIII[e] siècle qu'elles commencèrent à se relever. Dès 1740, on exploitait à ciel ouvert à *Arbesau* et à *Hottowitz*, au nord d'Aussig. Toutefois à cette époque le lignite n'était regardé que comme un combustible de peu de valeur, et l'on peut à peine donner le nom d'exploitations aux quelques grattages superficiels qui, durant de longues années, furent seuls effectués sur les affleurements des couches.

Au commencement de ce siècle le comte de Nostitz ouvrait quelques attaques à *Türmitz*. A peu près à la même épo-

(*) A. Purgold et E. Augener : *Das Braunkohlenbecken von Aussig bis Komotau-Priesen*, p. 22.

que, le comte de Wolkenstein en entreprenait d'autres à *Liebisch*, à l'ouest de Komotau, pendant qu'en même temps se créait à Dux une exploitation communale.

Vers 1830, les gisements de Salesl, sur la rive droite de l'Elbe, étaient ouverts à leur tour.

Ces premières exploitations avaient lieu, pour la plupart, à ciel ouvert.

Pendant longtemps on ne se servit que de treuils à bras pour l'extraction des produits; il en existe d'ailleurs encore un grand nombre aujourd'hui. La première machine à vapeur d'extraction fut établie, en 1856, au puits Arnold des mines du comte de Nostitz, à Türmitz. Dès 1874, il y avait, dans tout le bassin, plus de cent machines d'extraction et soixante machines d'épuisement.

Depuis vingt ans on a créé de toutes parts dans le bassin des voies ferrées pour desservir ces exploitations et écouler leurs produits. La première et la plus importante de ces lignes, celle d'Aussig à Teplitz (*) fut ouverte en 1858; le tronçon de Teplitz à Dux fut ensuite livré en juillet 1867; celui de Dux à Komotau, en octobre 1870. Depuis, une foule d'autres lignes se sont créées : parmi les plus importantes, celle de Dux à Bodenbach, qui, avec la précédente, transporte plus de 85 p. 100 des lignites du bassin; celles de Prague à Eger, de Pilsen à Priesen, de Prague à Dux, etc.

La vapeur a donné un essor prodigieux au développement de ce bassin. En 1858, sa production totale ne dépassait guère 225.000 tonnes; en 1860 elle atteignait déjà 450.000, aujourd'hui elle dépasse 5 millions de tonnes, dont le prix de revient est en moyenne inférieur à 3 fr. 50, et dont plus de moitié est expédiée à l'étranger.

La production a ainsi presque vingtuplé en vingt années. Ce résultat, à peu près unique dans l'histoire des com-

(*) Voir la carte générale du bassin, Pl. IV, *fig.* 1.

bustibles minéraux, et obtenu malgré la concurrence acharnée des houilles indigènes et étrangères, assigne aujourd'hui, au bassin à lignites de la Bohême, la première place parmi les gisements de combustibles minéraux de l'Autriche, dont il représente, à lui seul, près de la moitié de la production totale. Admirablement situé, au point de vue géographique, dans une contrée tempérée, fertile et populeuse, relié, par deux grandes artères longitudinales, à l'Elbe et aux principales voies de transit, ce bassin paraît appelé à devenir un jour le marché d'approvisionnement de l'Europe centrale.

La formation lignitifère, dont les couches puissantes s'étendent, presque sans interruption, sur une longueur de plus de 100 kilomètres, le long du pied méridional de l'Erzgebirge, a été étudiée, au point de vue géologique et à celui de l'exploitation, par un certain nombre d'ingénieurs.

M. Purgold, dans une communication à la Société des Sciences naturelles d'Aussig : *Ueber die Bildung des Aussig-Teplitzer Braunkohlenflötzes*, a reconstitué de la manière la plus remarquable l'histoire du passé de cette formation. Dans une brochure intitulée *Das Braunkohlenbecken von Aussig bis Komotau-Priesen* et publiée en collaboration avec M. le docteur Emmerich Augener, secrétaire de la Société de l'industrie minérale du nord-ouest de la Bohême, il a également examiné les conditions économiques et l'avenir probable du bassin.

M. D. Stur a étudié ses rapports chronologiques avec les formations tertiaires de l'Allemagne du Nord. Les résultats ont été résumés dans une note : *Studien über die Altersverhältnisse der norböhmischen Braunkohlenbildung*, publiée dans le *Jahrbuch der K. K. geologischen Reichsanstalt* (*).

(*) Année 1879.

M. le Bergmeister J. Trunk a consigné, dans un mémoire inséré dans l'*Oesterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen*, les notes recueillies par lui dans une visite aux mines de Dux et de Brüx. Le même journal a publié également divers articles de M. le docteur Otto Gmelin, sur les essais de transformation des menus de lignite, la présence du grisou dans certaines exploitations, etc.

Chaque année, la direction du chemin de fer d'Aussig à Teplitz résume, dans sa *Statistik des böhmischen Braunkohlen-Verkehrs*, tous les renseignements relatifs à la circulation et aux débouchés des lignites bohémiens. La brochure est accompagnée d'une carte diagraphique du plus haut intérêt, que j'ai été obligeamment autorisé à reproduire ici (*).

M. Richard Polack a résumé, dans des tableaux méthodiques, les principales données statistiques touchant la production, la consommation et la circulation des lignites de Bohême, depuis l'année 1860 jusqu'à l'année 1879.

Enfin M. Fuchs, ingénieurdes mines, a fait, en 1873, une étude des plus intéressantes de la situation géologique et économique des mines de Brüx.

Au cours d'un voyage de mission que j'ai fait en Autriche, en 1878, j'ai visité à mon tour la plupart de ces exploitations et j'ai pu constater leur état de prospérité.

Au moment où l'industrie des lignites commence à prendre dans notre pays, et particulièrement dans le Midi, une place chaque jour plus importante, il m'a paru qu'il ne serait pas sans intérêt de faire connaître ici, dans une étude d'ensemble, les conditions actuelles d'existence et les espérances d'avenir des exploitations du nord de la Bohême. Je me suis aidé pour ce travail des documents précédemment

---

(*) Voir Pl. IX.

cités, en les complétant par les observations que j'ai pu faire sur place.

Avant d'indiquer l'ordre que j'ai adopté pour cet exposé, j'acquitterai une dette de justice et de reconnaissance en remerciant ici M. le directeur du chemin de fer d'Aussig à Teplitz, ainsi que MM. les ingénieurs de Brüx, de Dux et de Teplitz, et tout particulièrement M. Purgold, de l'accueil sympathique qu'ils m'ont réservé et du concours empressé qu'ils m'ont spontanément offert.

Ce mémoire comprend deux parties : l'une, entièrement technique, où j'ai condensé tout ce qui touche à la géologie et à l'exploitation ; la seconde, plus particulièrement économique, où se trouvent réunis les renseignements relatifs aux institutions ouvrières, aux prix de revient et de vente, à la production, à la consommation et aux débouchés.

I

PARTIE GÉOLOGIQUE ET TECHNIQUE.

---

§ 1. — Aperçu topographique.

Limites, Étendue, Puissance et Répartition des gisements. — Le bassin à lignites du nord-ouest de la Bohême occupe presque sans interruption la grande vallée qui s'étend entre le pied méridional de l'Erzgebirge et la longue suite de cônes basaltiques et phonolithiques dont l'ensemble constitue le Mittelgebirge. (Voir la carte générale, Pl. IV, fig. 1.) Il se prolonge, vers le sud, dans quelques vallées secondaires de cette dernière chaîne, qui viennent déboucher dans la vallée principale. Enfin on en retrouve des îlots détachés,

souvent à de grandes altitudes, sur les flancs de l'Erzgebirge ou au milieu des roches vitreuses du Mittelgebirge (*). La formation s'étend à l'ouest jusqu'au Fichtelgebirge. Elle est limitée à l'est par les collines crayeuses de Leitmeritz et de Böhmisch-Leipa.

Sa direction générale, comme celle des bassins houillers voisins de Schlan-Kladno et de Pilsen, est à peu près celle de l'Erzgebirge : N. 50° E.

Sa longueur, depuis Böhmisch-Kamnitz jusqu'à Eger, dépasse 150 kilomètres. Sa largeur, que l'on peut en moyenne fixer à 8 kilomètres, atteint parfois le double. La superficie sur laquelle il s'étend dépasse ainsi 1.000 kilomètres carrés.

La couche est en général unique, et sa puissance, qui oscille le plus souvent entre 10 et 18 mètres, atteint en certains points 38 mètres.

Au point de vue topographique, on peut diviser la formation en trois bassins principaux.

Ce sont, en allant de l'ouest à l'est :

1° Le bassin d'Elbogen, situé dans la vallée de l'Eger et limité à l'est par le massif basaltique de Duppau. Il se divise lui-même en deux sous-bassins : celui d'Eger, à l'ouest, et celui de Falkenau-Karlsbad, à l'est.

2° Le bassin de Saatz-Teplitz, qui remonte vers le nord, en abandonnant l'Eger, pour occuper la vallée de la Biéla depuis Brüx jusqu'à Aussig. Il comprend le sous-bassin de Saatz, à l'ouest, et le sous-bassin de Bilin, à l'est.

3° Enfin le bassin de Salesl-Binnove, ou de Leitmeritz, prolongement du précédent sur la rive droite de l'Elbe, et dont on retrouve des lambeaux à Freudenhain, à Böhmisch-

(*) A Drzefce et à Wteln, on trouve de semblables îlots de lignite, respectivement à 500 et 320 mètres d'altitude au-dessus du niveau de la couche principale.

Kamnitz et jusque sur les flancs mêmes des monts de Lusace à Zittau, Lusdorf et Weigsdorf. De ces trois bassins, le second est de beaucoup le plus important, comme étendue et comme production.

§ 2. — Aperçu géologique.

A. — Stratigraphie générale de la Bohême.

Avant de passer à la description détaillée des diverses assises de la formation lignitifère, il ne sera peut-être pas sans intérêt de rappeler, en quelques mots, les caractère les plus saillants de la stratigraphie générale de la Bohême.

Entre la partie centrale, constituée par un vaste plateau éruptif de gneiss, de granites, de micaschistes, etc., et le massif, d'âge postérieur, de l'Erzgebirge, s'allongent, emboîtées les unes dans les autres, une série de couches concentriques, dirigées N. 50° E., et embrassant, avec de nombreuses interruptions toutefois, toute l'échelle des terrains, depuis les dépôts les plus anciens jusqu'aux alluvions contemporaines. (Voir la coupe représentée Pl. V, *fig.* 1.)

A la base, les schistes siluriens, occupant la vallée de la Beraun, et formant une série si complète qu'elle a été prise pour type du silurien inférieur. Puis, après une interruption qui comprend tout le dévonien et le houiller inférieur, les couches de combustible du terrain houiller proprement dit, reposant directement, à Schlan, à Kladno et à Pilsen, sur le silurien inférieur, sans interposition de calcaire carbonifère ou de Kulmgrauwacke. Immédiatement au-dessus, le Rothliegende. Le Zechstein et le Trias manquent complètement, et il n'existe du Jurassique qu'un petit lambeau d'Oolithe, à Unterdaubitz, sur la frontière saxonne. Le Néocomien fait entièrement défaut; le Crétacé n'est représenté que par sa partie moyenne : le *Pläner*

supérieur (Turonien) et le *Quadersandstein* (Cénomanien). Une nouvelle interruption, s'étendant depuis la craie marneuse jusqu'à l'Éocène inférieur inclusivement, est suivie du dépôt des assises de la formation lignitifère, recouverte elle-même par les couches plus récentes du Diluvium et par des alluvions contemporaines.

A partir de la période crétacée, on constate, dans l'échelle stratigraphique de cette partie de la Bohême, de nombreuses alternances de couches marines et de dépôts lacustres, qui attestent évidemment autant d'oscillations du sol.

B. — ÉRUPTIONS BASALTIQUES ET PHONOLITHIQUES.

L'époque lignitifère a été marquée à diverses reprises, et particulièrement vers son milieu, par des éruptions de roches basaltiques et phonolithiques. Ce dernier fait a été mis en évidence par la découverte de fragments bréchiformes de ces roches dans les sables argileux ou dans les schistes de la partie supérieure du terrain à lignites.

Celui-ci se trouve divisé par là, au point de vue chronologique, en trois étages que nous pouvons appeler : l'étage inférieur ou prébasaltique, l'étage basaltique proprement dit, et l'étage supérieur ou postbasaltique.

La *fig.* 2, Pl. V, montre la disposition relative de ces trois étages dans le bassin de Falkenau. Tandis que vers le nord, l'étage supérieur repose sur les couches prébasaltiques, en concordance parfaite et sans qu'il y paraisse exister la moindre solution de continuité, dans le sud, au contraire, à Reichenau par exemple, l'étage basaltique vient s'intercaler entre eux, sous forme d'un tuf renfermant parfois des bancs de lignite. (*)

Pendant que les couches des étages supérieur et inférieur se développent ainsi régulièrement dans le fond du bassin et sans jamais s'écarter fortement de l'horizontale, les

(*) Ce dernier fait se présente, par exemple, à Königswörth.

tufs basaltiques et les roches vitreuses, au contraire, n'apparaissent guère que sur la limite sud, sous la forme de dômes puissants et irréguliers, dominant de beaucoup les deux autres étages et formant même parfois de véritables massifs montagneux, comme par exemple dans la région de Duppau.

Les roches vitreuses (*) ont fait une dernière apparition, à la fin de l'époque tertiaire, après le dépôt de l'étage à lignites supérieur. La couche de combustible appartenant à cet étage présente en effet, au voisinage d'un dôme phonolitique qui s'élève aux portes de Brüx, un pli brusque, très analogue à une faille, et qui la relève d'une vingtaine de mètres. Ce fait indique bien une éruption postérieure au dépôt de la couche.

C'est cette dernière arrivée des basaltes et des phonolithes qui, selon toute vraisemblance, a achevé de donner à l'Erzgebirge son relief actuel et a occasionné une dislocation générale de la formation lignitifère, au moins dans la partie nord. Des lambeaux, arrachés à la couche principale, ont été en certains points enlevés à des hauteurs relativement considérables sur les pentes de l'Erzgebirge (**). Dans les localités situées en dehors de la zone affectée par ce dernier soulèvement, on retrouve au contraire la couche de lignite en stratification concordante avec les dépôts postérieurs.

(*) Je comprends à la fois, sous cette dénomination générale, les roches basaltiques, phonolithiques et trachytiques.

Les basaltes, bien que leur texture normale soit ultra-compacte, passent en effet à une texture nettement vitreuse dans les tufs scoriacés de la rive droite de l'Elbe.

D'autre part, les passages entre les basaltes et les phonolithes du Mittelgebirge sont souvent si peu marqués que la distinction entre ces roches en devient très délicate et que leur nature exacte est restée longtemps incertaine.

Les trachytes représentent le dernier terme de cette série.

(**) C'est ce qui a lieu par exemple à Arbesau et à Telnitz, près du chemin de fer de Dux à Bodenbach.

Pendant que la partie nord du bassin était ainsi bouleversée, des éruptions plus violentes encore et plus étendues déterminaient, dans le sud, la séparation d'une multitude de petits bassins (*).

Les plus importantes de ces éruptions se sont produites autour de Duppau à l'ouest et de Türmitz à l'est, formant une série de pitons qui émergent brusquement au-dessus de la plaine tertiaire sur une ligne à peu près parallèle à la direction générale de l'Erzgebirge, soit N. 50° E.

L'éruption de Duppau a isolé entièrement, vers l'ouest, le bassin d'Elbogen-Falkenau-Eger. De même dans l'intérieur du grand bassin de Saatz-Teplitz, l'éruption de trachytes du Schlossberg a séparé le petit gisement de Mariaschein-Karbitz de celui de Turn-Teplitz.

C. — DESCRIPTION SPÉCIALE DE LA FORMATION LIGNITIFÈRE.

Le terrain à lignites peut être divisé, comme je l'ai dit précédemment, en trois étages :

a. — L'**étage prébasaltique**, particulièrement développé dans les environs de Saatz ainsi que dans les bassins de Falkenau et d'Eger. Il se subdivise lui-même en deux sous-étages :

1° Le *sous-étage inférieur*, plus particulièrement siliceux, est constitué par les couches plus ou moins résistantes du grès lignitifère appelé aussi *grès d'Altsattel*, coupées par des bancs de sables, de conglomérats quartzeux, ou même parfois d'argile plastique, comme à Priesen. Ce grès s'étend sous la plus grande partie du bassin.

C'est à ce niveau très aquifère que prennent naissance les nombreuses sources d'eaux minérales qui viennent jaillir en divers points du bassin. Ce fait est démontré en

---

(*) C'est ce qui a lieu par exemple à Wteln, au sud de Brüx (voir Pl. IV, *fig*. 3).

particulier par un sondage (voir la coupe *fig.* 3, pl. V) exécuté à Brüx en 1877 et qui a mis à jour une source aujourd'hui captée et exploitée par la ville elle-même (*). La source connue sous le nom de ***Riesenquelle***, sur la route de Teplitz à Dux, a très probablement la même origine. Il pourrait ne pas en être de même pour la source principale de Teplitz, dont la teneur en matières fixes est beaucoup plus faible (seulement $6^{gr},32$ par litre).

Divers sondages ont montré que le grès d'Altsattel repose, dans une grande partie du bassin, surtout vers l'extrémité orientale, sur le crétacé moyen (étage cénomanien ou turonien), et celui-ci directement sur les terrains cristallins : gneiss, granite, porphyre ou micaschistes.

Dans certaines localités le crétacé lui-même fait complètement défaut. C'est ainsi que la formation lignitifère repose directement sur le gneiss à Oberleitensdorf et à Görkau au nord, ainsi que dans le sud à Bilin, où un îlot de gneiss vient percer au jour. Dans les environs de Teplitz le mur est formé par le porphyre.

On a retrouvé dans le grès d'Altsattel et dans l'argile plastique de Priesen une grande quantité de plantes fossiles admirablement conservées, qui ont été décrites dès 1840 par Rossmässler (**).

2° Le ***sous-étage supérieur***, caractérisé par la prédominance de l'argile, a été décrit par Jokély sous le nom de *système de Saatz* (***). Il est peu représenté dans les bassins de Bilin et de Leitmeritz.

On le trouve au contraire très développé dans les bassins de Falkenau, d'Eger et de Saatz. Il est caractérisé dans le

---

(*) L'eau possède une température de 20°2 et renferme, par litre, $53^{gr},28$ de matières fixes.

(**) Rosmässler, *Versteinerungen d. Braunkohlensandsteins von Altsattel in Böhmen*. 1840.

(***) *Jahrbuch der K. K. geologischen Reichsanstalt*, années 1856, 1857, 1858.

premier par une couche assez puissante (4^m,50) (voir la coupe Pl. V, *fig.* 4) d'un lignite gras (*Gaskohle*) très recherché, pouvant fournir du gaz d'éclairage. Dans le second, il est marqué par la présence d'un lignite terreux inexploitable, ressemblant à de la cendre, et désigné sous le nom de *Moorkohle*. On y trouve également des bancs d'argiles alunifères ou pyriteuses, qui ont parfois donné lieu à des exploitations spéciales, mais sans grand succès.

La base de ce sous-étage est généralement constituée par des lits d'argile à potiers (*Töpferthon*), alternant parfois avec de minces couches de lignite. Au-dessus vient la couche principale de lignite (*Gaskohle*), divisée par un ou plusieurs bancs d'argiles alunifères contenant des rognons de pyrite.

b. — L'étage basaltique, caractérisé soit par des masses plus ou moins régulières de basalte, de trachyte, ou de phonolithe, soit par des tufs résultant de l'action de l'eau sur ces derniers, est surtout très développé dans les bassins de Leitmeritz et de Bilin. Il s'est produit là, à des intervalles rapprochés, une série d'éruptions de roches vitreuses que l'on retrouve aujourd'hui, à l'état de tufs, alternant avec des bancs de lignite. Ces tufs sont très riches en végétaux fossiles parfaitement conservés ; on y a reconnu des genres de plantes, qui aujourd'hui appartiennent exclusivement à la flore des pays chauds. On a pu induire de là qu'il régnait en Bohême, à l'époque tertiaire, un climat presque tropical. La flore de ces couches a d'ailleurs été étudiée à fond par divers auteurs, notamment par M. d'Ettingshausen, dont le grand ouvrage sur la flore de Bilin (*) est bien connu de tous les paléobotanistes.

(*) C. von Ettingshausen, *Fossile Flora des Tertiärbeckens von Bilin.* 1866-1869. Il convient de citer en outre : Sieber, *Zur Kenntniss der nordböhm. Braunkohlenflora*, 1880 ; et Engelhardt, *Nova acta Acad. Leopold. Carol. natur. curios.*, t. XLVIII, n° 4, et *Verhandlungen d. k. k. geol. Reichsanstalt*, 1881, n° 8.

Dans les bassins de Saatz, de Falkenau et d'Eger, l'étage balsatique n'est guère représenté que sur quelques points (voir le tableau chronologique pages 366 et 367).

e. — L'**étage supérieur** est peu représenté dans la région de Leitmeritz. Il est caractérisé dans le bassin de Falkenau par la présence d'une couche assez puissante (4m50) de lignite maigre, qui manque, au contraire, dans les environs d'Eger. Il atteint son maximum de développement dans le bassin de Saatz-Teplitz, où il constitue l'étage à lignite proprement dit.

Dans toute l'étendue des formations tertiaires de la Bohême, on trouve cet étage, représenté par des argiles alternant avec des grès ou des sables, rarement avec des calcaires.

Les argiles, dont l'aspect et la nature varient à l'infini, sont tantôt schisteuses, tantôt charbonneuses, tantôt plastiques, tantôt compactes ou pierreuses. Leur couleur varie du blanc clair au noir le plus foncé, et peut présenter toutes les teintes intermédiaires, gris, bleu, vert, etc. On trouve souvent dans ces argiles de petits lits intercalaires de sphérosidérite.

Les sables, que l'on trouve réunis en masses lenticulaires au toit de la couche de lignite, sont souvent aquifères. Ils apportent de graves difficultés à l'exploitation en menaçant à chaque instant de faire irruption dans les travaux. Parfois ils sont agglomérés à l'état de grès, parfois aussi ils sont ferrugineux, au point de constituer de véritables minerais de fer (*). Ces sables proviennent incontestablement de l'altération des massifs granitiques ou porphyriques de l'Erzgebirge, ou des îlots de grès crétacé qui émergent de toutes parts dans le bassin, ou bien encore des grandes formations gréseuses qui s'étendent dans la vallée de l'Eger.

(*) Comme dans la région de Falkenau, par exemple.

Leur dépôt est en relation très probable avec les embouchures des cours d'eau qui venaient se jeter dans la mer tertiaire.

On trouve dans les argiles du toit, à Mariaschein, à l'extrémité septentrionale du gîte, un lit peu épais d'un sable excessivement fin, émaillé de petites paillettes de mica; il provient indubitablement de la décomposition de roches très micacées, de gneiss probablement. En certains points ce sable est remplacé par un lit de fragments de quartz roulés, gris et transparents, qu'un examen plus attentif fait bientôt reconnaître comme bipyramidés. Ces fragments résultent d'une manière très certaine de la décomposition des porphyres qui apparaissent au N. O. de Mariaschein.

Cette masse argilo-sableuse, dont le sondage de Brüx (voir *fig.* 3, pl. V), donne une coupe très-détaillée, est recouverte de marnes et de terre végétale.

Mais la partie la plus intéressante de cet étage est à coup sûr la puissante couche de lignite qui se développe vers la base dans le bassin de Saatz-Teplitz, où elle fait l'objet de nombreuses exploitations. Cette couche est en général unique; les nerfs stériles que l'on y trouve parfois intercalés, et qui ont pu faire croire à l'existence de plusieurs couches, s'amincissent le plus souvent en prolongement et finissent par disparaître.

La puissance est ordinairement faible aux affleurements, mais elle croît assez rapidement avec la profondeur. Entre Türmitz et Karbitz et aux environs de Mariaschein, elle oscille entre 12 et 16 mètres. A Oberleitensdorf, Brüx et Komotau elle dépasse 28 mètres; à Bilin, 38 mètres. Un sondage exécuté à Budin l'a traversée sous une épaisseur de 63 mètres. On a même, dans un autre sondage effectué à Kopitz, aux environs de Brüx, reconnu une puissance de 156 mètres (*).

(*) A. Purgold et E. Augener : *Das Braunkohlenbecken von Aussig bis Komotau-Priesen*, p. 9.

Mais il est permis de se demander si ce chiffre prodigieux ne tient pas à la présence, en ce point, d'un rejet ou d'un dressant de la couche, que le trou de sonde aurait traversé. Avant d'admettre ce chiffre comme mesure de la puissance utilisable en ce point, il convient d'attendre que de nouvelles recherches soient venues le confirmer.

De Komotau à Aussig, la couche s'abaisse, d'une manière régulière, de 250 mètres environ (*).

La couche principale est accompagnée, au toit, de plusieurs autres couches minces, séparées par des lits de schistes charbonneux qui reparaissent au mur, alternant avec des bancs d'argile foncée.

Cette puissante masse charbonneuse s'étend d'une façon certaine dans tout le bassin de Saatz-Teplitz, c'est-à-dire sur une longueur de 70 kilomètres et une largeur qui, en certains points, dépasse 18 kilomètres.

Son allure est en général très régulière, en quelques points cependant on la trouve tourmentée par de nombreux accidents (**). Dans quelques localités, elle a été également bouleversée par les dernières éruptions basaltiques et phonolithiques.

Sa direction générale est, comme je l'ai déjà dit, parallèle à l'Erzgebirge (N. 50° E.).

Son pendage, assez faible dans la région sud, où il oscille entre 3° et 8° N., atteint 30° S. dans le voisinage de l'Erzgebirge, dont la formation tout entière a d'ailleurs épousé le dernier soulèvement.

La profondeur de la couche de combustible au-dessous de

(*) Ce fait est mis en évidence par la série suivante des altitudes au-dessus du niveau de la mer de stations échelonnées entre les deux extrémités du bassin. Komotau, 380 mètres; Brüx, 215 mètres; Dux, 211 mètres; Turn, 217 mètres; Türmitz, 135 mètres; Modlan, 184 mètres; Karbitz, 156 mètres; Schonfeld, 150 mètres; Aussig, 133 mètres (*Das Braunkohlenbecken*, A. Purgold et E. Augener).

(**) Par exemple à la mine Fortschritt, près de Dux.

la surface est très variable. Nulle en certains points, comme aux environs de Dux et de Brüx, où ses affleurements donnent lieu à de nombreuses exploitations à ciel ouvert, elle est en moyenne de 152 mètres aux environs de Teplitz, et atteint même ailleurs jusqu'à 370 mètres (*).

La couche de lignite est souvent divisée par des nerfs d'une argile gris brun, ou traversée par des failles remplies de poussières de charbon et appelées *Russklüfte.*

On y trouve aussi parfois de vastes cavités. Ainsi dans le fonçage du puits Jules II des mines du Domaine, à Brüx, on a rencontré un vide de cette nature qui mesurait 66 mètres de long, 12 mètres de large et 8 mètres de haut; il était partiellement rempli d'argile et de poussières charbonneuses.

D. — AGE RELATIF DES DIFFÉRENTES ASSISES DE LA FORMATION.

D'après une opinion anciennement émise par Beyrich et au fond très vraisemblable, la formation tertiaire bohémienne ne serait qu'un appendice du grand bassin tertiaire de l'Allemagne du Nord, une sorte de baie intérieure dépendant de la vaste mer qui recouvrait à cette époque les plaines tudesques. La solution de continuité qui sépare les monts de Lausitz de ceux du Riesengebirge aurait formé la communication entre cette sorte de mer méditerranéenne et l'Océan tertiaire.

Par une savante comparaison avec le terrain à lignites de Leipzig, si bien étudié par Credner, M. D. Stur est arrivé à fixer l'âge relatif des différentes assises de la formation lignitifère de Bohême.

Voici en quelques mots le résumé de cet important travail (voir aussi le tableau ci-contre, p. 366-367).

M. Stur met d'abord en parallèle les couches de l'étage

(*) A Bruch, par exemple.

TABLEAU RÉSUMANT LES RAPPORTS CHRONOLOGIQUES DE

ÉCHELLE stratigraphique générale.	TERMES de comparaison et de repère.	DÉSIGNATION des étages de la formation lignitifère.	BASS… Sous-bassin d'Eg…
Miocène inférieur ou Helvétien.	Terrain méditerranéen ancien [*Hohe Rhonen*, *Wieliczka* (Pologne)]. Calcaire d'eau douce de ***Kolossoruk***. Étage à lignite supérieur de Leipzig.	Étage à lignites supérieur.	Argiles schisteuses … *Pochlowitz*. **Schistes** à cyprid… marnes et calca… d'eau douce (Mast… **don angustide**… **Cuv.,** dans les a… giles du mur à *Olen… dorf*).
Éocène supérieur ou Aquitanien.	Marnes à cyrènes de *Mieslach*. Molasse inférieure de ***Monod*** (Hongrie) avec **Pectunculus obovatus.** Lignites avec **Anthracotherium magnum** (Hongrie). Sables à **Cerithium margaritaceum** (France). Sables quartzeux blancs et Pyrites de la formation lignitifère de Leipzig.	Étage basaltique.	Représenté seulem… en quelques points d… la partie sud du ba… sin par des basalt… ou des tufs basalt… ques.
Éocène moyen ou Tongrien.	Rupelien supérieur { Sables marins et argile à septaria de Leipzig. Rupelien inférieur { Argiles alumineuses avec pyrites concrétionnées, lignites gras et bois bitumineux, pyritisés et silicifiés de la formation de Leipzig. Grès lignitifère et conglomérats avec intercalations d'argile plastique « **Knollensteinstufe** » de la formation de Leipzig.	Étage à lignites inférieur.	Manque. . . . . **Argiles** et sables ave… lignites tourbeu… (**Moorkohle**) et argile alunifère. Grès lignitifère et conglomérats quartzeu…
Oligocène inférieur ou Ligurien.	Terrain à lignites de l'Allemagne du Nord (entre *Magdebourg*, *Cothen*, *Halberstadt* et *Brunswick*).		Manque.

RMATION LIGNITIFÈRE DE LA BOHÊME SEPTENTRIONALE.

OGEN.	BASSIN DE SAATZ-TEPLITZ.		BASSIN DE LEITMERITZ.
Sous-bassin e Falkenau-Karslbad.	Sous-bassin de Saatz.	Sous-bassin de Bilin.	
rgiles et grès supérieurs ferrugineux de *Falkenau*. rgiles schisteuses de *Zieditz*. chistes à cypridines de *Grasseth*. ouche de lignite d'*Haberspirk*, *Boden*, *Kahr*, etc.	Argiles schisteuses de *Komotau*, *Brüx*, *Oberleitensdorf*. **Erdbrand** de *Teplitz*. Argiles schisteuses avec lignite en une seule couche très puissante, ou en deux ou trois couches plus minces. **Hyotherium Sömmeringi, Planorbis cf. solidus et Crocodilus sp.**	Argiles schisteuses avec rognons de sphérosidérite et d argile, de *Preschen* et *Lang-Augesd*. Schistes charbonneux et lignite de *Sobrusan* et *Bilin*. Calcaires d'eau douce de *Kollossoruk* et de *Kostenblatt*, riches en débris de plantes fossiles.	Très peu développé.
Ianque généralement. Représenté à *Königswörth* par des basaltes, et à *Reichenau* par des basaltes et des tufs basaltiques.	Manque complètement dans le milieu du bassin. Massif basaltique de *Duppau* à l'ouest. Marnes calcaires au sud de *Kaaden*. Tufs basaltiques de *Waltsch*. Lignite gras (**Wachskohle**, **Paraffinkohle**), de *Donawitz*.	Très développé. **Menilitopal** de la vallée de *Sichof*. **Polierschiefer** de *Kutschlin*.	Très développé. Basaltes, tufs basaltiques et argiles bitumineuses feuilletées avec couches de lignite intercalées. **Anthracotherium** dans le lignite à *Lukowitz* et **Triton basalticus** dans les tufs et les argiles bitumineuses de *Warnsdorf*. Flore très riche à *Salesl*, *Freudenhain*, etc.
Manque.	Manque.	Manque.	Manque.
Argiles plastiques et argiles alunifères avec pyrites concrétionnées. Lignite gras de *Reichenau*, *Falkenau*, etc. Grès lignitifère et conglomérat d'*Altsattel*, avec flore très riche.	« **Système de Saatz** » avec minces couches de lignite tourbeux. Argiles de *Tschermich*. Grès lignitifère d'*Osseg*, de *Saatz* et du *Schlossberg* de *Teplitz*.	Absent. Grès lignitifère avec intercalations d'argile plastique de *Priesen*.	Peu développé. Grès lignitifère de *Schüttenitz*.
Manque.	Manque.	Manque.	Manque.

prébasaltique bohémien avec celles de l'étage inférieur de Leipzig et démontre leur identité complète, aussi bien sous le rapport de la flore fossile qu'au point de vue pétrographique. Il en conclut que le *système de Saatz* est plus ancien que l'argile marine à septaria de Leipzig, dont le dépôt remonte incontestablement à l'éocène moyen, et qu'il doit être lui-même rattaché à cette époque, et non à l'éocène supérieur comme on l'avait admis jusque-là.

Il classe comme appartenant à cette dernière époque les roches vitreuses et les tufs de l'étage basaltique.

Il arrive enfin à assigner à l'étage supérieur de la formation lignitifère bohémienne un âge contemporain du Méditerranéen ancien, correspondant par conséquent au miocène inférieur.

Tous ces résultats se trouvent résumés dans un tableau dont j'ai cru intéressant de reproduire ci-contre un extrait.

E. — MODE DE GÉNÉRATION DU LIGNITE.

Nous avons dit précédemment que le bassin à lignites de la Bohême septentrionale formait très probablement, à l'époque tertiaire, une sorte de mer méditerranéenne séparée en partie par l'Erzgebirge du grand océan qui recouvrait alors l'Allemagne du Nord. La formation de cette mer doit sans doute être attribuée à un affaissement lent et graduel du sol, au début de l'époque éocène, au pied de l'Erzgebirge et parallèlement à cette chaîne. Cet affaissement était vraisemblablement analogue à ceux qui ont été de nos jours si nettement constatés sur les côtes de la Scandinavie et de la Dalmatie, et qu'on a désignés sous le nom générique d'*affaissements séculaires*. Il faut espérer que les nivellements de précision qui s'exécutent en ce moment dans tous les pays civilisés permettront bientôt de reconnaître les mouvements analogues de l'écorce terrestre dans l'intérieur des continents.

L'hydrographie du bassin tertiaire bohémien serait difficile à reconstituer exactement. Le relief orographique a été profondément modifié depuis, tant par de nouveaux soulèvements que par la progression de l'affaissement lui-même ou par les érosions, et il n'a gardé que des rapports éloignés avec l'allure primitive des couches.

Il est toutefois certain qu'à cette époque, les grands cours d'eau comme l'Elbe, l'Eger et la Biéla existaient déjà et venaient déverser dans les eaux peu profondes de la mer intérieure les débris arrachés par eux aux formations avoisinantes.

Pendant que les sables se déposaient dans le voisinage immédiat des embouchures, les fines particules d'argile étaient entraînées au centre et s'y accumulaient en bancs épais. On les retrouve aujourd'hui, transformées par la chaleur et la pression en schistes argileux, au mur et au toit des couches de combustible, ou même intercalées dans le charbon sous forme de nerfs.

Sur cette assise d'argiles imperméables s'est développée la puissante végétation à laquelle on doit le lignite, et dont on retrouve des restes fossiles en plusieurs points du bassin.

Ce devait être probablement une végétation de tourbières. On ne s'expliquerait pas autrement la formation d'une couche de charbon de 14 mètres de puissance moyenne, correspondant à au moins 30 mètres d'épaisseur de débris, si l'on en juge d'après nos tourbières contemporaines. La présence dans le lignite même, ou dans les couches avoisinantes du toit et du mur, de restes fossiles bien caractérisés des végétaux de l'époque éclaircirait singulièrement cette question délicate.

Malheureusement, les rares débris fossiles, racines, tiges ou feuilles, que l'on retrouve, sous forme de fragments ou d'empreintes, dans les argiles du toit de certains gîtes, sont en général si peu nets qu'il est impossible de les définir

botaniquement d'une façon précise. Il ne faut donc pas songer à reconstituer la flore génératrice du lignite aussi complètement qu'on a pu le faire pour la houille, dont les assises renferment parfois des végétaux entiers, admirablement conservés jusque dans leurs organes les plus délicats.

Toutefois l'absence de végétaux fossiles dans les couches mêmes de lignite doit faire penser que ce combustible a été engendré par des plantes d'ordre inférieur, analogues à celles qui croissent aujourd'hui dans nos tourbières, plutôt que par une véritable végétation arborescente.

D'autre part, l'aspect terreux et amorphe du lignite de Bohême, aussi bien que sa densité, le rapproche assez des briquettes de tourbe pure comprimée. M. Haushofer (*) a de plus constaté, par des observations microscopiques, l'analogie de structure de ce lignite avec la tourbe grasse (*Pechtorf.*)

On pourrait objecter à cette manière de voir que la découverte faite en plusieurs endroits, dans la couche même, de débris fossiles présentant nettement la structure ligneuse et tous les caractères des espèces résineuses, tend plutôt à faire admettre l'hypothèse du flottage.

Mais, sans nier le rôle important qu'ont pu jouer dans la génération du lignite les bois amenés par les grands affluents de la mer tertiaire bohémienne, je ferai remarquer que ce fait n'est nullement incompatible avec l'hypothèse d'une végétation de marais. On a, en effet, retrouvé des débris considérables de sapins dans quelques tourbières de l'Angleterre, de l'Écosse et du Danemark, et des troncs entiers de cyprès dans celles du Mississipi dont je dirai plus bas quelques mots.

Une autre objection pourrait également être soulevée.

J'ai dit en effet précédemment que la découverte d'espèces végétales des pays chauds, de troncs de palmiers, par

(*) *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, année 1871, p. 306.

exemple, dans le gîte de Salesl-Binnove, avait fait conclure à l'existence en Bohême, à l'époque tertiaire, d'un climat presque tropical. Or, d'autre part, la formation de la tourbe résulte d'une décomposition lente et spontanée des végétaux, qui paraît *à priori* incompatible avec l'hypothèse d'une température élevée. Les tourbières sont, en effet, généralement regardées comme caractéristiques des pays froids ou tempérés.

Mais la contradiction n'est qu'apparente. On trouve en effet à l'heure actuelle, à l'embouchure du Mississipi, entre le 29ᵉ et le 30ᵉ degré de latitude Nord, une formation de tourbe très puissante et très étendue. Elle présente même ce singulier phénomène d'une île flottant littéralement sur un mélange d'eau douce et d'eau salée. La surface supérieure est utilisée comme prairie pour le bétail, et les puits que l'on y fore rencontrent invariablement la nappe d'eau. On y a même pris parfois des poissons de mer.

Il peut donc exister des tourbières sous les climats chauds, et il est probable que le même phénomène s'est produit en Bohême à l'époque tertiaire.

La formation d'une couche compacte de lignite de 14 mètres d'épaisseur moyenne a naturellement exigé un laps de temps très considérable, pendant lequel la végétation génératrice a dû varier. Quand, en effet, on examine les parois d'une galerie fraîchement percée dans la masse charbonneuse, cette dernière paraît absolument homogène; et cependant, sous l'action de l'air, on voit au bout de peu de temps se développer, sur ces mêmes parois, des bandes régulières, et diversement colorées, d'efflorescences blanchâtres, produites par une altération superficielle du charbon. Cette diversité dans les teintes ne peut provenir évidemment que de variations correspondantes dans l'essence même de la matière et, par suite, dans la nature spécifique des végétaux générateurs. Cette hypothèse n'a d'ailleurs rien d'invraisemblable : on a, en effet, constaté

que dans les forêts primitives de la Bohême, par exemple, certaines espèces de conifères avaient disparu pour faire place à des essences feuillues.

Le plus important des affluents de la mer tertiaire de Bohême a dû être très certainement l'Elbe; mais il charriait de telles masses de sables, débris des grès crétacés qu'il rencontre dans son cours supérieur, qu'il n'a pu se développer aucune végétation dans la partie du bassin avoisinante. Ceci explique pourquoi on ne trouve aujourd'hui dans toute la région qui entoure Leitmeritz que des veines insignifiantes de lignite. Ce combustible ne commence à apparaître d'une façon sérieuse que vers le confluent de la Biéla et de l'Elbe, à Aussig, où on le trouve reposant invariablement sur son lit d'argiles imperméables.

Causes qui ont amené l'arrêt de la formation du lignite. — Il est bien difficile de savoir d'une façon précise quelles causes ont mis fin à cette végétation particulière à laquelle on doit le lignite. Les circonstances qui ont présidé à son développement ont été d'ailleurs très différentes dans les deux régions du bassin situées à l'ouest et à l'est de l'Elbe.

Région ouest. — A l'ouest, l'affaissement lent qui avait donné naissance à la mer intérieure a dû se continuer progressivement et sans interruption pendant toute la période tertiaire. Ceci est démontré par la régularité même de la puissante couche de combustible dans toute la région qui s'étend entre Aussig et Komotau. C'est à peine si, en quelques points, on la trouve dérangée par des failles ou des étranglements.

Il est probable qu'une augmentation dans la vitesse de l'affaissement aura finalement provoqué la submersion complète de toute la formation tourbeuse et arrêté, par suite, le développement de la végétation génératrice. De puissants dépôts d'argile seront venus ensuite s'accumuler sur la masse des débris et la comprimer. La matière, feutrée,

spongieuse et filamenteuse, se sera trouvée ainsi réduite à une faible portion de son volume et amenée à un état plus homogène et plus dense, voisin de celui du combustible que l'on exploite aujourd'hui.

En même temps que ces dépôts argileux pesaient de tout leur poids sur la couche tourbeuse, l'eau de mouillage de cette dernière, emprisonnée entre deux couches imperméables d'argile, maintenait toute la masse dans un état de plasticité qui lui a permis de suivre sans se disloquer tous les mouvements du sol et de conserver toute sa régularité.

Parfois aussi cette pression a dû déterminer la formation de rejets et d'étranglements comme on en constate un grand nombre à la mine Fortschritt à Dux, par exemple.

Enfin, en réagissant sur les argiles, elle a, dans nombre de cas, provoqué leur transformation en schistes. Mais, souvent aussi, elles sont demeurées plastiques, et c'est à cette cause qu'il convient d'attribuer le gonflement irrésistible des soles dans certaines mines. On a vu des bancs de charbon de un mètre d'épaisseur se rompre sous l'influence de cette pression, et des galeries de $2^m,50$ de hauteur se remplir entièrement en quelques mois.

En outre de cette action physique, l'eau de mouillage, sous l'influence combinée de la chaleur et de la pression, entrait en combinaison avec les éléments mêmes des substances végétales et favorisait leur décomposition et leur transformation.

Cette hypothèse sur le rôle de l'eau dans la génération du lignite est loin d'être gratuite. M. Daubrée a en effet montré, par une série d'expériences remarquables, qu'à une température élevée et sous l'influence d'une forte pression, les matières végétales prennent, au contact de l'eau, une teinte noirâtre et un aspect analogue à celui des combustibles minéraux.

C'est probablement aux infiltrations, dans les argiles du

toit, des gaz hydrocarburés résultant de cette action chimique, qu'il faut attribuer les imprégnations charbonneuses que l'on constate dans les schistes recouvrant les bancs de lignite ou s'intercalant au milieu d'eux sous forme de nerfs.

Région est. — Pendant qu'à l'ouest de l'Elbe se développait progressivement et sans secousses une puissante végétation de tourbières, la région est était le théâtre d'une suite de violents cataclysmes. Il se produisait, dans la vallée de Grosspriesen, aux environs de Leitmeritz, ainsi que nous l'avons déjà dit plus haut, une série d'éruptions vitreuses se succédant à des époques rapprochées. Pendant les intervalles de calme, il se développait, sous l'influence d'un climat presque tropical, de véritables forêts, peuplées d'arbres des pays chauds, et notamment de palmiers.

On retrouve aujourd'hui les restes de cette végétation sous la forme d'un lignite gras, luisant, très pur et très estimé, exploité à Salesl et à Binnove. Dans ces deux localités, on ne compte pas moins de treize couches de combustible, de $0^m,80$ au plus d'épaisseur, séparées par des bancs de tufs et traversées dans tous les sens par des éruptions de roches vitreuses qui ont, à leur contact, transformé le lignite en coke. On retrouve également, au sein même des couches, de véritables bombes volcaniques, entourées de charbon cokéifié et renfermant des druses tapissées intérieurement de superbes cristaux d'analcime.

Mais le fait le plus remarquable encore, c'est l'admirable état de conservation dans lequel on retrouve, emprisonnés dans le tuf et au contact immédiat des charbons, les restes fossiles de la flore de cette époque, débris de troncs et de tiges, empreintes de feuilles, de fruits, etc... C'est la détermination botanique de ces débris fossiles, qu'on a pu faire du reste avec une grande précision, qui a permis de reconnaître l'existence en Bohême, pendant la période tertiaire, d'un climat presque tropical. On a constaté en

effet que la flore génératrice du lignite du bassin de Leitmeritz possédait de grandes analogies avec la flore actuelle de l'Amérique centrale et avec celle qui s'épanouissait à l'époque tertiaire dans le bassin de Gascogne.

§ 3. — Nature et composition du lignite.

A. — Lignites secs du bassin de Saatz-Teplitz.

Le lignite du bassin de Saatz-Teplitz peut être classé parmi *lignites secs* ou *lignites proprement dits.*

Son aspect est terne et sa couleur d'un brun assez clair, avec un faible éclat résineux. Tantôt il se divise nettement suivant des plans de clivage parallèles à la stratification, tantôt, au contraire, il se partage en prismes normaux à celle-ci. Sa cassure est conchoïdale. Il est dur, mais en même temps très fragile ; il se brise facilement sous le choc du marteau. Sa poussière est brune. Sa densité varie en moyenne entre 1,20 et 1,25 ; le mètre cube, pris à l'état fragmentaire, pèse environ 675 kilogrammes.

Il brûle avec une flamme bleuâtre en répandant une odeur de cyanogène qui décèle la présence de l'azote dans sa composition. Réduit à l'état de poussière fine il devient très inflammable. La flamme d'un bec de gaz détermine une sorte de déflagration dans une atmosphère fortement chargée de ces poussières (*). Toutefois je n'ai pas connaissance qu'il se soit produit des accidents dus à cette cause, bien que dans la plupart des mines on travaille à feu nu et qu'on y emploie la poudre.

Exposé à l'action de l'air, ce lignite se délite rapidement

(*) On sait que l'inflammabilité des poussières de combustibles minéraux croît, toutes choses égales d'ailleurs, avec la proportion d'oxygène qu'ils renferment. La poudre de lycopode ou de lignite jouit de cette propriété à un très haut degré, tandis que les poussières d'anthracite en sont presque totalement dépourvues.

et tombe en poussière. Quand il se trouve en masse suffisante, il s'échauffe en dégageant de l'acide carbonique et s'enflamme même parfois au bout de peu de temps. Cet échauffement spontané est un fait courant dans un grand nombre d'exploitations, et il n'est pas rare de voir, dans des chantiers mal ventilés, la température de l'air s'élever jusqu'à 35° centigrades.

Le charbon en poudre, qui remplit certaines failles, désignées pour cette raison sous le nom de *Russklüfte* ou qui imprègne les argiles ou les schistes, favorise singulièrement, avec l'aide de l'air frais et de l'humidité, le développement spontané des incendies. Très rares dans les parties saines et régulières de la couche, ceux-ci sont en effet très fréquents dans les parties fortement mélangées d'argiles ou bouleversées par des failles on des éboulements. Ils engendrent des masses considérables de gaz délétères qui, en peu d'instants, suffisent à empoisonner l'atmosphère d'une mine entière.

Le lignite renferme souvent des inclusions bitumineuses et des veines de marcassite ; mais la présence de ces pyrites paraît n'avoir qu'une influence très secondaire sur la naissance spontanée des incendies.

La présence du grisou n'est pas rare dans les exploitations, mais elle ne paraît liée à aucune propriété particulière du combustible, non plus qu'à quelque particularité de gisement. On emploie la lampe de sûreté dans un grand nombre de puits.

Je citerai, à titre de renseignement, quelques-unes des nombreuses analyses qui ont été faites de ces charbons.

Pour des lignites de choix de la Société minière de Brüx, on a obtenu les résultats suivants :

Carbone fixe	de 33,0 à 36,0	p. 100
Matières volatiles	de 43,0 à 45,0	—
Eau	de 18,7 à 20,6	—
Cendres	de 3,0 à 3,7	—

Proportion de carbone fixe que donnerait ce même lignite supposé complètement sec et privé de cendres. .	42,25 à 45,65 p. 100.
Pouvoir calorifique absolu	4.418,0 à 4.565,0 calories
Pouvoir calorique relatif (*)	55,2 à 57,1 —
Poids d'eau vaporisée par un kilogramme de lignite.	4^{kg},1 à 5^{kg},2.

Deux échantillons provenant des mêmes mines et analysés au laboratoire de l'École des mines de Paris ont donné au contraire les résultats suivants :

NATURE des substances.	ÉCHANTILLON N° 1.	ÉCHANTILLON N° 2.	OBSERVATIONS.
Matières volatiles, . .	34,6	43,8	Le lignite n'a pas donné de coke.
Carbone fixe.	24,2	34,6	
Cendres	41,2	21,6	
	100,0	100,0	
Nature des cendres :	Argilo-siliceuses.	Silico-ferrugineuses.	
Proportion de carbone fixe donné par le lignite supposé complètement sec et privé de cendres. .	41 p 100	43 p. 100	

On voit que la proportion de cendres a passé brusquement de 3 à 4 p. 100, teneur constatée dans les premiers échantillons, à 20 ou 40 p. 100 dans les seconds. Cela montre que le degré de pureté de ces lignites peut varier considérablement, non seulement d'une mine à l'autre, mais encore dans le champ d'une même exploitation.

(*) Le *pouvoir calorifique relatif* d'un combustible est le rapport de son pouvoir calorifique absolu à celui du carbone pur représenté par le nombre 100. Le pouvoir calorifique absolu du carbone pur est d'environ 8.080 calories.

Pour les lignites des environs de Teplitz on a trouvé :

Eau	24 à 25 p. 100
Cendres	5 p. 100
Nombre de kilogrammes de lignite nécessaires pour développer autant de chaleur que 1 mètre cube de bois blanc	290 kilog.

Le poids spécifique de ce lignite étant d'environ 1,24, il s'ensuit que son pouvoir calorifique serait plus de quatre fois celui du bois blanc.

M. J. Pechar admet comme moyenne, pour les lignites du bassin de Saatz-Teplitz, les chiffres suivants :

Eau	17,2 p. 100
Cendres	6,1 —
Pouvoir calorifique absolu	4.150 calories
D'où, pouvoir calorifique relatif	51,50 —

Voici maintenant deux analyses plus détaillées :

M. le docteur Wittstein a trouvé, pour deux échantillons provenant des mines de Dux, les résultats suivants :

NATURE des substances.	DÉCOUVERT ANTONIA.	MINE CHRISTIANA.
Eau	33,50	27,40
Carbone	42,22	47.208
Hydrogène	4,10	4,412
Oxygène	15,375	16,55
Azote	0,765	0,683
Cendres	2,27	3,410
Total	98,230	100,263
	Calories.	Calories.
Pouvoir calorifique absolu	4.325,50	4.580,00
D'où pouvoir calorifique relatif	53,50	56,80

En supposant ces mêmes échantillons complètement secs et privés de cendres, on obtient, pour leur composition élémentaire, les chiffres suivants :

ORIGINE des lignites.	C	H	O	Az.	$\frac{O+Az}{H}$
Découvert Antonia . . .	67,60	6,55	24,60	1,25	3,96
Mine Christiana	68,90	6,35	23,75	1,00	3,90

On peut rapprocher ces chiffres des analyses suivantes de quelques lignites français, rapportées par M. Gruner dans son *Traité de métallurgie* :

ORIGINE des lignites.	COMPOSITION DU LIGNITE SEC.			PROPORTION pour 100 d'eau	PROPORTION pour 100 de charbon obtenu par calcination.	ASPECT du produit de la calcination.
	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.			
Bassin d'Aix . . .	73,79	5,29	20,92	»	35,6	Noir pur, charbon non déformé.
Rocher bleu d'Aix (Bouches - du - Rhône)	72,98	4,04	22,98	8,27	48,0	Noir terne, charbon fendillé.
Manosque (Basses-Alpes). . . .	66,31	4,85	28,84	7,82	40,0	Noir brillant, charbon non déformé.

OBSERVATIONS — Le pouvoir calorifique absolu de ces lignites, supposés contenant 15 à 20 p. 100 d'eau et de cendres, varie de 5.200 à 6.000 calories.

Enfin un échantillon de la mine Fortschritt de Dux, analysé à l'Institut polytechnique de Breslau, a fourni les chiffres suivants (**) :

Poids spécifique.	1,236	p. 100
Rendement en *photogène* (huile légère)	1,275	—
— en *huile solaire* (huile lourde). . . .	1,586	—
— en paraffine brute	8,170	—
— — épurée.	0,52	—
Pouvoir calorifique absolu.	5.799	calories
D'où, pouvoir calorifique relatif.	71,80	—

(*) T. I, p. 91.

(**) *Oesterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen*, année 1878.

Carbone libre	82,38
Carbone combiné	0,26
Hydrogène	7,10
Oxygène	5,14
Azote	0,11
Eau combinée	1,65
Eau hygroscopique	2,54
Cendres	1.02
Total	100,00

On constate *à priori* des différences considérables entre ces derniers chiffres et ceux des analyses précédentes. La proposition d'eau, par exemple, se trouve réduite de 17 ou 25 p. 100 à 2,5 p. 100, et la teneur en cendres a baissé, de 3 ou 6 p. 100, à 1 p. 100, pendant que le pouvoir calorifique absolu s'est élevé, au contraire, de 4.200 ou 4.600 calories, à 5.800. Tout semble donc prouver, quoique cela ne soit pas explicitement indiqué, qu'il s'agit ici d'un échantillon de choix appartenant plutôt à la catégorie des lignites gras, et dépouillé de la majeure partie de son eau par une dessiccation préalable.

Le tableau suivant donne les analyses comparées des lignites du bassin de Saatz-Teplitz, supposés complètement secs, et des lignites analogues que l'on exploite, en France, dans les départements du Gard et de la Charente.

Tableau comparatif de la composition de quelques types de lignites proprement dits, classés d'après l'ordre décroissant de leurs pouvoirs calorifiques.

PROVENANCE des lignites	ANALYSE IMMÉDIATE du lignite sec. Carbone fixe.	Matières volatiles.	Cendres.	POUVOIR calorifique relatif.	OBSERVATIONS
Fuveau (Gard) . . .	55 à 58	34 à 39	6 à 8	60 à 70	Pas de coke.
Minerve (Aude) . . .	32,6	57,4	10	67	Coke poreux et . . boursouflé.
Saint-Leu (Basses-Pyrénées)	48,4	46,0	5,6	60	Pas de coke.
Brüx (Bohême) [Grande couche du bassin de Saatz-Teplitz].	40 à 44	52 à 55	3,6 à 4,5	52 à 57	Pas de coke. Eau hygroscopique au sortir de la mine: 15 à 20 p 100. 1 kil. vaporise de $4^k,1$ à $5^k,2$ d'eau.
Saint-Victor (Gard).	28,6	61,5	9,9	53	Pas de coke.
Edon (Charente). . .	39,0	50	11	50	Coke faiblement aggloméré.
Saint-André (Gard).	37	48	15	48	Pas de coke.
Connaux Gard). . .	20	50	30	32,3	Pas de coke.

(*) Extrait de l'étude de M. Fuchs sur les lignites de Brüx.

On reconnaît, d'après ce tableau, que les lignites de Brüx et de Dux, quoique deux fois moins cendreux que ceux de Fuveau, leur sont sensiblement inférieurs au point de vue du pouvoir calorifique. Ils se placent, en revanche, au-dessus de tous les lignites d'autre provenance du département du Gard.

Il peut être intéressant de faire figurer ici, en regard de la composition des lignites secs du bassin de Saatz-Teplitz, celle des houilles du bassin de Schlan, avec lesquelles ils se trouvent en concurrence sur le marché de Prague, et celle des houilles de Silésie, qui luttent contre eux à Vienne et sur les marchés de la Saxe et de la Prusse.

Houilles demi-grasses du bassin de Schlan-Kladno (*).

PROVENANCE.	ANALYSE IMMÉDIATE.			POUVOIR calorifique relatif.	OBSERVATIONS.
	Carbone fixe.	Matières volatiles.	Cendres.		
Grande couche de Kladno.	55	39	6	79,4	Coke léger. 1 kilog. de houille vaporise de 6k,10 à 6k,34 d'eau.
Couche de Rakonitz.	»	»	4,5	69,3	
Couche permienne de Pschow (Schwarzen-Kohle.	55	41,2	3,8	78,0	

(*) Extrait du *Traité de métallurgie* de M. Gruner, tome I, pages 100, 101 et 102.

Houilles sèches à longue flamme de la Haute-Silésie.

ORIGINE DES HOUILLES.	COMPOSITION, déduction faite des cendres.			PROPORTION pour 100 de cendres.	POIDS D'EAU vaporisée à 112° par kilog. de houille brûlée.		NATU… du co…
	C	H	O+Az		marchande.	pure.	
					kilog.	kilog.	
Composition moyenne des 11 couches de la Haute-Silésie.	78,87	5,14	15,99	»	»	»	Pulvérule… ou très pe… fritté.
Composition moyenne des trois couches de la mine Königin-Luise.	80,39	5,16	14,45	»	»	»	Fritté.
Houille très dure de la même mine.	74,16	5,57	20,27	6,83	6,28	7,02	Pulvérule…

OBSERVATIONS. — Le pouvoir calorifique absolu de ces houilles, supposées pures, varie de 8.200 à 8.500 calories.

Le rapport entre le pouvoir calorifique des lignites proprement dits du bassin de Saatz-Teplitz et celui des houilles de Kladno et de Silésie est, comme on le voit, d'environ 7/10. Cette même fraction représente aussi, à peu près, le rapport des poids d'eau vaporisée par 1 kilog. de chacun

de ces combustibles. M. Diday a constaté aussi, d'autre part, que le lignite d'Aix produit les 8/10 de la quantité de vapeur fournie par une houille sèche, à longue flamme, du bassin d'Écosse.

Si l'on admet qu'en général la valeur d'un combustible est proportionnelle à son pouvoir calorifique, on voit que les lignites de Saatz-Teplitz peuvent concurrencer avec avantage les houilles des bassins de Schlan et de la Haute-Silésie partout où leur prix de revient, augmenté des frais de transport, est inférieur aux 7/10 du prix de ces mêmes houilles.

Il faut faire toutefois, à cette théorie, une importante restriction. Le rapport des pouvoirs calorifiques de deux combustibles de natures différentes peut mesurer assez exactement celui de leur valeur industrielle, quand il ne s'agit que du chauffage domestique ou de celui des chaudières fixes; mais il n'en est plus de même quand on veut appliquer ces combustibles aux usages métallurgiques ou au service des locomotives. Ces emplois exigent, en effet, des qualités spéciales de résistance à l'écrasement ou de minimum de déchet, que le lignite est loin de posséder au même degré que la houille et surtout que le coke.

B. — Lignites gras du bassin d'Elbogen.

A côté des lignites secs, on trouve, comme je l'ai précédemment, dans l'étage inférieur du sous-bassin de Falkenau, des lignites gras gazeux, passant presque à la houille et désignés sous les noms caractéristiques de *Wachskohle* (charbon cireux), ou *Pechkole* (charbon poisseux).

Le tableau suivant (*) donne quelques analyses comparées de ces lignites et de ceux analogues, quoique moins gras, de la Provence.

(*) Extrait du *Traité de métallurgie* de M. Gruner, tome I, p. 94

ORIGINE des lignites.	COMPOSITION du lignite sec. C	H	O	PROPORTION pour 100 de charbon obtenu par calcination.	NATURE du charbon.	POUVOIR calorifique absolu du lignite sec, privé de cendres.	AUTEURS des analyses.
						calories	
Basses-Alpes.	72,19	5,86	22,45	48,0	Charbon peu boursouflé.	»	(Regnault)
Manosque (Basses-Alpes).	70,57	5,44	23,99	37,9	Charbon boursouflé.	73,63	(Scheurer-Kestner)
Elbogen	77,64	7,85	14,51	26,0	Charbon extrêmement boursouflé.	»	(Regnault)
Elbogen	76,58	8,27	15,15	23,12		79,24	(Scheurer-Kestner)

§ 4. — Exploitation.

A. — Généralités.

On rencontre des difficultés nombreuses dans l'exploitation de cette puissante couche de combustible. Les unes tiennent à l'excès même de cette puissance; d'autres proviennent soit de l'abondance des eaux, soit de la facilité et de la fréquence des incendies.

Les argiles du toit renferment, comme j'ai déjà eu occasion de le dire, des bancs de sables aquifères, très dangereux, dont l'éboulement du toit favorise fréquemment l'irruption dans les travaux. Ces bancs sont particulièrement à craindre au voisinage des épanchements de roches vitreuses : basaltes ou phonolithes.

Au contact de la roche éruptive, que celle-ci soit à l'état de colonne ou de nappe, ce qu'il n'est pas toujours facile de reconnaître, le charbon a subi, en outre, des modifications profondes qui se révèlent par un commencement de cokéification, une nature cassante et friable et un éclat particulier qui a fait parfois donner à ce lignite altéré le nom de ***Blaukohle***. On a rencontré à Schwatz une

colonne de basalte au delà de laquelle la couche se continuait normalement.

Enfin, au contact du mur, le lignite est parfois tellement impur et cendreux qu'on préfère l'abandonner dans la mine.

L'étendue des concessions est très variable. Elles atteignent parfois 15 kilomètres carrés. A cela vient s'ajouter encore, le plus souvent, un droit exclusif de recherches sur une zone limitrophe considérable, mesurant quelquefois près de 100 kilomètres carrés (*).

Au point de vue de l'aménagement du gîte, il n'y a aucune règle absolument générale; mais les dispositions sont le plus souvent bien conçues et très rationnelles.

A la mine Britannia, près Teplitz, par exemple, où un soulèvement au nord et des éruptions de roches vitreuses au sud ont redressé et contourné la couche en fond de bateau, le puits est foré de manière à atteindre cette dernière vers le point le plus bas. Le gîte est divisé en plusieurs quartiers, disposés en éventail autour de ce puits et desservis chacun par un grand niveau de roulage prolongé par un plan incliné (voir Pl. VI, *fig.* 2). Un traçage sommaire s'avance jusqu'aux limites du champ d'exploitation. Le dépilage s'effectue ensuite par gradins, en rabattant vers le puits et en respectant le plus longtemps possible

---

(*) On sait que d'après la loi autrichienne les concessions se composent d'un certain nombre d'unités appelées *Grubenmassen* (rectangles de 4 hectares 51 ares 16 centiares de superficie).

A ces concessions peuvent en outre être adjoints des *Freischürfe* (cercle de 424 mètres de rayon et de 56 hectares de superficie), dans lesquels le permissionnaire, moyennant le payement d'une taxe annuelle, jouit seul du droit de fouille. Ces *Freischürfe* peuvent être plus tard transformés en concessions définitives, donnant droit d'exploiter. Ils constituent une précaution contre la concurrence éventuelle et une ressource pour l'avenir.

La mine du *Domaine*, par exemple, à Brüx, possède 338 *Grubenmassen*, soit $15^{km^2},500$ de concession proprement dite, et 159 *Freischürfe*, représentant une surface de 90 kilomètres carrés

les massifs voisins du plan incliné, destinés à sa protection.

Les méthodes mêmes de dépilage sont nombreuses; elles feront plus loin l'objet d'un paragraphe spécial. J'observerai seulement ici que le bas prix de vente du lignite (moins de 3 francs pour la tonne de tout-venant) ne permet pas d'appliquer à son extraction les méthodes rationnelles, mais coûteuses, usitées en général pour l'exploitation des gîtes de houille. On vise surtout à l'économie; aussi les méthodes par foudroyage, employées dès l'origine, restent-elles encore à peu près les seules en usage dans tout le bassin; et cela bien qu'elles soient des moins recommandables au point de vue de la bonne utilisation des richesses combustibles.

Les puits atteignent jusqu'à 170 et 180 mètres de profondeur. Les galeries sont, presque toujours, entièrement dans le charbon. Toutefois, à la mine Fortschritt, à Dux, on a établi dans les argiles du mur, malgré toutes les appréhensions défavorables, des travers-bancs destinés à rejoindre les rejets de la couche. Non seulement les soles ne se sont pas gonflées comme on le craignait, mais on a pu réduire le boisage à quelques chapeaux, posés de distance en distance pour soutenir le toit.

L'abatage se fait, en général, au pic. On tire parti des surfaces naturelles de clivage du charbon, pour faire le moins de menu possible. On emploie aussi, dans un certain nombre d'exploitations, la poudre et la dynamite.

B. — Travaux de recherches.

Grâce aux affleurements multipliés où la couche combustible est exploitée à ciel ouvert, grâce surtout aux nombreux sondages exécutés sur tous les points du bassin, les conditions d'étendue et de gisement des lignites dans le nord de la Bohême sont aujourd'hui assez bien connues. L'adminis-

tration des domaines de l'État, pour sa seule part, n'a pas fait exécuter moins de dix de ces sondages dans la concession que l'État possède à Brüx.

Il ne sera peut-être pas sans intérêt d'indiquer brièvement ici les conditions particulières dans lesquelles s'exécutent d'ordinaire ces sondages.

C'est une compagnie spéciale qui entreprend les opérations de cette nature dans tout le bassin.

L'engin extérieur se compose d'une simple chèvre à 3 pieds. Les tiges sont en fer, carrées, et ont 32 millim. de côté. Le diamètre des trous est de $0^m,32$ en moyenne.

On fore les argiles du toit au moyen de la tarière à glaise. Ce travail exige quatre hommes. On passe les couches de sables aquifères au moyen de la cloche à sables, qui donne d'excellents résultats. On n'emploie le trépan à chute libre que dans le charbon même.

Les trous sont tubés jusqu'au charbon afin d'empêcher que, pendant le forage de la couche, la chute de fragments provenant du toit ne vienne fausser les indications du sondage. On emploie à cet effet des tubes en tôle de 2^{mm} d'épaisseur.

Ces sondages sont exécutés à forfait et d'après le tarif suivant :

De 0 à 20 mètres de profondeur	$7^f,50$	par mètre.
De 20 à 40 —	$15^f,00$	—
De 40 à 60 —	$22^f,50$	—

et ainsi de suite en augmentant le prix par mètre de 6 fr. 50 après chaque nouvelle portée de 20 mètres.

Quand l'entrepreneur de sondage fournit les engins, les prix du tarif précédent sont augmentés de 20 p. 100 ; au passage du charbon ils sont majorés de 40 p. 100 ; enfin, dans les sables aquifères dépourvus d'argile, ils sont augmentés de 100 p. 100.

Avant de commencer le travail, l'entrepreneur reçoit, à

titre d'avance, la moitié de la somme présumée. Il ne reçoit le complément que dans le cas où l'opération réussit.

Comme exemple de la marche d'une de ces opérations, je citerai le sondage exécuté au petit village de Tschausch près de Brüx, et dont la coupe se trouve figurée Pl. V, *fig*. 3.

Ce sondage, commencé le 4 janvier 1877, atteignait le charbon neuf jours après, à la profondeur de 57 mètres, après avoir traversé une série d'assises argileuses de couleurs variées et, immédiatement au-dessus de la couche combustible, une épaisseur de 6 mètres de schistes charbonneux inflammables. A partir de ce moment, la sonde resta sans interruption dans le lignite pendant 25 mètres. La traversée même de la couche dura sept jours. Le sondage rencontra ensuite un nerf d'argile de 0^{m},43 d'épaisseur, puis un petit banc de 1 mètre de lignite dur. A la cote 83 mètres, les schistes charbonneux et pyritifères du toit reparurent pendant 1 mètre environ. A partir de ce moment et jusqu'au 10 février, c'est-à-dire pendant près de trois semaines, la sonde traversa une succession d'argiles analogues à celles qui avaient été rencontrées au toit.

Jusque-là l'eau avait constamment rempli le trou de sonde et s'y était tenue normalement à 2^{m},50 au-dessous de l'orifice. Le 10 février, à la profondeur de 135^{m},67, après une traversée de 8 mètres dans des sables quartzeux grossiers, mélangés de petits fragments de gneiss, un jet d'eau minérale se produisit, amenant avec lui, dans les premiers instants, de petits morceaux de gneiss et de quartz.

Nous avons déjà dit précédemment quelques mots de cette source à propos de la description de l'étage inférieur de la formation lignitifère (page 360). La ville de Brüx usa de son droit d'expropriation et, moyennant le payement des dépenses faites pour le sondage, elle acquit la propriété de la source, qu'elle exploite depuis.

La vitesse moyenne de ce sondage a été, comme on peut le voir, de 3^{m},70 par jour environ.

Les dépenses se sont élevées au total à 5.058 francs, savoir :

2.160 francs pour les 82 premiers mètres, depuis la surface jusqu'au mur de la grande couche,

Et 2.898 francs pour les 54 derniers mètres, jusqu'à la rencontre de l'eau minérale.

C. — Méthodes d'exploitation.

La manière la plus rationnelle d'exploiter une couche combustible de pareille puissance consisterait à la diviser en plusieurs étages, par des plans horizontaux. On dépilerait ensuite chaque étage, en commençant par l'étage supérieur, par tranches horizontales successives prises de bas en haut et remblayées.

Cette méthode présenterait un triple avantage : elle permettrait l'enlèvement de la totalité du charbon ; elle empêcherait la dislocation du toit et, par conséquent, l'infiltration des eaux des assises supérieures dans les travaux ; enfin elle préviendrait la production de ces effondrements ou de ces affaissements du sol, toujours si onéreux pour l'exploitant, même quand ils ne menacent pas la sécurité publique.

Malheureusement cette méthode est coûteuse. L'emploi du remblai grèverait le prix de revient du combustible de 1 franc au moins par tonne, charge inadmissible, car elle représenterait plus de 33 p. 100 du prix moyen de vente.

On a donc dû recourir, dans la plupart des cas, à des méthodes beaucoup moins parfaites, beaucoup moins rationnelles peut-être, mais plus économiques. On peut les diviser en quatre grandes catégories :

a. Méthodes d'exploitation à ciel ouvert ;
b. Id. par piliers abandonnés ;
c. Id. par foudroyage ;
d. Id. par tranches horizontales remblayées.

Travail d'avancement en galerie. — Avant de décrire en détail ces divers modes d'exploitation, je crois devoir dire quelques mots de la manière assez originale dont s'exécute généralement dans le bassin le travail d'avancement en galerie, en traçage ou en dépilage.

Les galeries ont en général de $1^m,90$ à $3^m,50$ de largeur, et de 2 mètres à $2^m,50$ de hauteur.

A la mine du Domaine, à Brüx, on prolonge les deux faces latérales de la galerie au delà du front de taille par un havage que l'on répète à la sole; puis le cube, ainsi dégagé sur quatre de ses faces, est abattu à l'aide de un ou deux pétards plantés au toit. Chaque chantier d'avancement comprend deux ouvriers qui fournissent chacun un rendement moyen de 3 tonnes de lignite par poste de douze heures.

Le travail se fait d'une façon un peu différente à la mine de la Société de Brüx. On pratique un havage de $0^m,80$ à 1 mètre de profondeur dans le prolongement de chacune des quatre faces de la galerie; puis on enfonce à coups de masse un coin en fer au centre du front de taille. Le charbon éclate bientôt avec fracas. On arrive par ce procédé à ne faire que de 10 à 15 p. 100 de menu inutilisable. Chaque chantier d'avancement occupe deux hommes, qui rendent chacun $1^t,60$ de lignite par poste de douze heures.

A la mine de l'Union, à Dux, on obtient, par cette même méthode et avec un chantier de deux hommes, un avancement de $1^m,50$ par poste.

A la mine Nelson-Colliery, on obtient, dans des conditions analogues, un avancement de 1 mètre et un rendement moyen de 3 tonnes de charbon par ouvrier.

A la mine de la Banque anglo-autrichienne à Obergeorgenthal, on opère comme à la mine de Brüx, à cette différence près qu'au lieu de faire sauter, à l'aide d'un coin enfoncé au centre, le cube dégagé sur cinq de ses faces, on exécute un havage horizontal à mi-hauteur; après

quoi on fait sauter successivement, à la poudre, le bloc inférieur et le bloc supérieur. Ce procédé est inférieur au précédent.

a. **Exploitation à ciel ouvert.** — Ce mode d'exploitation n'est applicable qu'aux affleurements. L'abatage du stérile et ensuite du charbon se fait en général par gradins. Un plan incliné ou un puits foncé à l'aval servent à l'extraction des produits.

Je citerai, comme exemple particulièrement intéressant, le découvert de la mine de la Compagnie des chemins de fer de Dux à Bodenbach, à Dux. La couche a de 15 à 25 mètres de puissance ; son pendage oscille entre 4 et 5 degrés. Elle est recouverte, vers les affleurements, par une épaisseur de 10 mètres d'alluvions. Une partie seulement doit être exploitée à ciel ouvert; toutefois l'exploitation souterraine n'est encore qu'à l'état de préparation.

On commence par enlever les alluvions du toit. Les déblais sont conduits en arrière du front de taille, dans la partie déjà exploitée. Le dépilage du charbon se fait ensuite par piliers de 20 mètres de largeur sur 12 mètres de profondeur.

Le massif de charbon, rendu libre à sa partie supérieure par l'ablation des morts-terrains, dégagé sur sa face antérieure et sur une de ses faces latérales par l'abatage des piliers précédents, est d'abord limité à la longueur voulue (20 mètres), du côté non libre, par une petite galerie *a b* (voir *fig.* 7 et 8, Pl. V), que l'on pousse normalement au front de taille jusqu'à 12 mètres de profondeur. Cette galerie sert ensuite de base à un havage vertical que l'on ne prolonge pas tout à fait jusqu'au jour. L'ouvrier se guide, pour ce travail, par des trous verticaux, forés de distance en distance, à partir de la surface supérieure.

Cette opération effectuée, on pénètre dans le massif par une série de petites galeries de $2^{m},50$ de large et de 2 mètres de haut, qu'on perce normalement à la face antérieure. On

les recoupe ensuite par une série d'autres galeries rectangulaires, de manière à ne laisser subsister que de petits piliers carrés de $1^m,50$ de côté. On perce alors sur le front de chaque pilier un trou de mine de 1 mètre de profondeur, qu'on bourre de dynamite. Tous les fourneaux sont ensuite réunis entre eux au moyen d'un fil conducteur, recouvert d'un enduit isolant, et mis en communication avec une machine électrique.

Le chargement des fourneaux est fait par un maître-mineur. Le tirage à l'électricité est également confié à un agent spécial. On évite ainsi les imprudences, dont les conséquences seraient ici particulièrement désastreuses.

Un signal indique aux ouvriers qu'ils doivent se retirer. Puis la machine est mise en mouvement, tous les piliers sautent à la fois et la masse entière s'éboule avec fracas.

On a préalablement établi, devant le front de taille, des voies temporaires qui permettent maintenant d'effectuer, avec une grande rapidité, l'enlèvement du charbon abattu. On concentre à ce travail tous les ouvriers disponibles. Les bennes sont emmenées, par le chemin le plus court, jusqu'à la recette inférieure du puits d'extraction et, de là, élevées au jour.

On laisse généralement au mur une épaisseur variable de charbon trop impur pour pouvoir être avantageusement exploité.

Ce procédé, très remarquable comme rapidité d'exécution et comme rendement, se distingue en outre par la proportion relativement considérable de gros (50 p. 100) qu'il fournit. Or, au point de vue commercial, le gros est de beaucoup le produit le plus recherché.

b. Exploitation par piliers abandonnés. — Je n'en citerai non plus qu'un seul exemple : celui de la mine du Domaine, à Brüx.

La couche, dont l'épaisseur totale est de 11 mètres, est

divisée en quatre bancs par des nerfs d'argile ou de schiste de $0^m,50$ à $1^m,50$ d'épaisseur. Le troisième banc, d'une puissance de $2^m,50$, est seul exploité; les trois autres donnent un charbon trop impur.

L'inclinaison de la couche est d'environ 10 à 15 degrés.

Le traçage consiste en un réseau de galeries de niveau et de pente, mesurant les premières $2^m,50$ de largeur, les secondes 3 mètres, et découpant la couche en une série de massifs rectangulaires de 40 mètres sur 20 mètres, en plan. Ces galeries sont percées sur toute la hauteur du banc.

Le dépilage se fait sur trois niveaux à la fois. On recoupe chaque massif par un système de galeries de niveau et de pente, de manière à ne laisser subsister que de petits piliers carrés de 4 mètres de côté, qu'on abandonne dans la mine pour empêcher l'éboulement du toit. Les figures 9 et 10 de la planche V représentent ce mode d'exploitation en plan et coupe.

Le calcul de la proportion de charbon que l'on abandonne ainsi est facile à faire :

Dans un massif de 40 mètres sur 20 mètres, soit 800^{m^2} de superficie, on laisse 18 piliers de 16^{m^2} de section, représentant par conséquent 288^{m^2} de surface totale. Le rapport $\frac{288}{800} = 36$ p. 100 mesure la proportion du charbon perdu.

On ne remblaye que les chantiers situés à l'aplomb des chemins de fer ou des autres voies de communication de la surface.

c. Exploitation par foudroyage. — Les méthodes par foudroyage peuvent se diviser en deux classes, comprenant elles-mêmes des variantes :

α Méthodes par foudroyage en une seule tranche. . . . . { 1° par petits piliers. 2° par grands piliers.

β Méthodes par foudroyage en plusieurs tranches . . . . { 1° inclinées. 2° horizontales.

a. Méthodes en une seule tranche. — 1° *Par petits piliers.* — Ces méthodes se ramènent, en principe, à une division du gîte en piliers carrés de 10 à 20 mètres de côté, au moyen de galeries de traçage se coupant à angle droit. On sous-cave ensuite le pied de chaque pilier, et l'on en provoque l'éboulement.

Cette manière de procéder est une des plus anciennement usitées dans le bassin. Elle date presque de l'origine même de l'exploitation du lignite dans la contrée, et c'est actuellement encore la plus employée, malgré les inconvénients qu'elle présente.

J'en aurais de nombreux exemples à citer; je me restreindrai aux plus intéressants.

1° *Mine Britannia à Mariaschein*, près Teplitz. — La couche a une puissance moyenne de 11 mètres. Son allure est assez irrégulière. Par le fait des éruptions de roches vitreuses postérieures au dépôt de l'étage supérieur, le gîte se trouve relevé à la fois au nord et au sud, et présente une section transversale en forme de fond de bateau. La ligne de thalweg est elle-même contournée en forme de Z et va constamment en s'abaissant du nord au sud.

L'aménagement des travaux est celui que j'ai indiqué à l'article des *Généralités* (voir page 385 et Pl. V, fig. 11). Le puits principal a 162 mètres de profondeur et dessert trois quartiers disposés en éventail autour de sa recette inférieure.

Le traçage consiste en un réseau de galeries de niveau et de pente, de 2 mètres sur 2 mètres de section, distantes en général de 20 mètres les unes des autres et divisant par conséquent le massif en piliers carrés ayant chacun 400 mètres carrés de superficie. Ces dimensions varient d'ailleurs suivant la solidité du toit.

Les grands niveaux de roulage ont 4 mètres de largeur sur 2^{m},50 de hauteur, sans boisage. Le long des parois on voit le charbon, sous l'influence de la pression du toit, se diviser naturellement en une série de prismes verticaux produisant à l'œil l'impression d'une longue file de tuyaux d'orgue.

Le dépilage suit une marche générale descendante, par gradins ; mais chaque pilier est pris de bas en haut.

On commence par pratiquer à la base du pilier une sorte de sous-cave de 2 mètres de hauteur en soutenant le massif, au fur et à mesure de l'avancement du travail, par des buttes de sapin assujetties au toit au moyen de cales. On laisse toutefois, du côté des parties déjà exploitées, des murs de 3 à 4 mètres d'épaisseur pour protéger les chantiers en activité contre le mauvais air provenant des incendies qui règnent presque normalement dans les vieux travaux. Des serrages en maçonnerie α α (voir Pl. V, *fig.* 12) ferment en outre l'entrée des galeries de traçage dans ces derniers.

On pratique sur les deux faces du pilier, adjacentes au massif vierge, un havage vertical de 0^{m},80 de largeur et d'environ 4 mètres de hauteur. L'ouvrier s'échafaude, pour ce travail, sur des planches soutenues par des piquets enfoncés latéralement dans le charbon. Ce havage est poussé jusqu'à la rencontre d'un grand plan de clivage que l'on trouve un peu au-dessus du milieu de la couche.

Les *fig.* 12 et 13 de la Pl. V représentent cette première période du travail.

Ceci fait, on retire le plus grand nombre possible d'étais. Lorsqu'on juge qu'il y aurait danger pour les ouvriers à en enlever davantage, on place à la base de chaque butte restante une cartouche de dynamite, et on les fait toutes sauter à la fois. Le charbon s'éboule d'une seule masse dans le vide inférieur. On procède aussitôt à son enlève-

ment à l'aide de petites voies ferrées qui ont été posées à l'avance.

Mais il reste encore environ 5 mètres de charbon, formant comme un faux toit au-dessus du plan de clivage dont il a été question tout à l'heure. On n'obtient donc, par ce premier éboulement, que la moitié environ du charbon exploitable. Pour déterminer la chute de la partie restante, on pratique, comme on le peut, un second havage de 0m,80 à 1 mètre (voir pl. V, fig. 14, le croquis représentant cette seconde période du travail). Dès que le nouvel éboulement s'est produit, on procède de même aussitôt à l'enlèvement du charbon.

Le toit lui-même ne tarde pas à s'ébouler, amenant souvent avec lui dans les vieux travaux, des boues provenant d'un banc supérieur de sables aquifères. D'autrefois, et c'est le cas le plus fréquent, les schistes et les charbons abandonnés dans le chantier s'échauffent et prennent feu.

Aussi, en prévision de ces accidents, aussitôt le charbon enlevé, isole-t-on, au moyen de serrages en briques, le chantier abandonné, des galeries qui y aboutissent. On donne même aux bouches d'accès des galeries de dépilage dans les carrés en exploitation une section aussi étroite que possible, afin de pouvoir effectuer plus vite le barrage, en cas d'éboulement prématuré du toit.

Les massifs de protection, qu'on laisse du côté des vieux travaux, ne sont pas, du reste, entièrement perdus. Après l'enlèvement complet des parties éboulées, on les amincit progressivement à la base afin d'en retirer encore un peu de charbon. Dès que leur éboulement paraît imminent, on bat en retraite et l'on ferme les serrages.

On évalue à un cinquième la proportion du charbon qui se trouve abandonné par cette méthode.

2° *Mine de la Société de Brüx, à Tschausch*, près Brüx. — La puissance de la couche principale atteint ici 20 mètres.

De plus il existe au toit une petite couche de 4 mètres d'épaisseur que l'on n'exploite pas. Si, d'autre part, on retranche de l'épaisseur de la grande couche les parties avoisinant le toit et le mur, trop impures pour être exploitées, on reconnaît que la puissance utile ne dépasse pas en réalité 14 mètres.

La couche présente vers le sud un relèvement dû à l'existence d'un piton phonolithique, le *Schlossberg* qui s'élève aux portes de Brüx. Elle se redresse en ce point jusqu'à 30°. A part cela, elle présente une allure assez régulière et s'abaisse lentement vers le nord où elle ne montre plus qu'une inclinaison uniforme de 4° à 5°.

Dans les parties inclinées, on a adopté une méthode d'exploitation par étages, dont je dirai quelques mots plus loin.

Dans la partie plate au contraire (champ d'exploitation du puits *Anna*), l'exploitation se fait en une seule tranche comme à la mine Britannia.

Le traçage découpe le massif, de la même manière, en piliers carrés de 20 mètres de côté.

Le dépilage présente une particularité spéciale. — Chaque pilier primordial est recoupé en quatre, par deux galeries se croisant dans l'axe. On dépile ensuite successivement chacun des petits massifs de 10 mètres de côté, ainsi obtenus.

On procède pour cela à peu près de la même manière qu'à la mine Britannia. Les seules différences à signaler consistent en ce que le premier havage vertical est effectué ici sur les quatre faces du massif. On le prolonge sur 5 ou 6 mètres de hauteur, suivant la solidité du charbon et la position des grands plans de clivage de la couche (voir les *fig.* 1 et 2, Pl. VI).

La chute du faux toit de charbon est obtenue aussi d'une façon un peu différente. On prolonge la sous-cave fondamentale de $2^m,50$ dans le massif voisin (voir les *fig.* 3 et 4,

Pl. VI) ; puis, au moyen d'un havage vertical de 4 à 5 mètres de hauteur, effectué en avant, on isole un petit pilier supplémentaire dont on provoque ensuite l'éboulement en enlevant les buttes qui le soutiennent. Il entraîne avec lui la majeure partie du charbon restant, que l'on enlève le plus rapidement possible. Il est en effet indispensable d'abandonner au plus vite le chantier, car l'éboulement des argiles du toit suit en général, à assez court intervalle, celui du faux toit de charbon.

Ce procédé est plus sûr et moins dangereux que celui usité à la mine Britannia.

J'ai déjà dit qu'on laissait, au toit et au mur, une certaine épaisseur de lignite trop cendreux pour être avantageusement exploitable. On laisse de plus, comme à la mine Britannia, entre chaque pilier et les vieux travaux, un mur de protection, d'épaisseur variable, comprise entre 2 et 6 mètres. On amincit en général, autant que possible, ces rideaux de charbon, aussitôt que l'état des éboulements dans les vieux chantiers adjacents permet de le faire sans danger. On parvient ainsi à réduire notablement la perte en combustible utilisable.

Le rendement d'un piqueur, qui, en traçage, ne dépasse pas, comme je l'ai dit précédemment à propos du travail d'avancement en galerie, $1^t,60$ par poste de douze heures, atteint dans le dépilage $4^t,5$.

3° *Mine Fortschritt, à Dux.* — La couche est ici très tourmentée par des failles et des accidents de toute nature. Sa puissance totale est en moyenne de 13 mètres, dont parfois 9 seulement sont exploitables. A 2 mètres au-dessus du mur et à 3 mètres au-dessous du toit, la couche est traversée par deux nerfs d'argile de 4 à 5 millimètres d'épaisseur, dont on tire parti dans la méthode d'exploitation, comme nous le verrons plus loin.

On a essayé successivement dans cette mine plusieurs

modes d'exploitation. On a d'abord divisé la couche en étages. Puis on a appliqué pendant un certain temps une méthode par remblais. On a ensuite essayé la dynamite avec laquelle on bourrait de longs trous de mine forés dans le massif. Enfin on s'est arrêté à une méthode par foudroyage, qui, bien que loin d'être irréprochable, est exclusivement pratiquée aujourd'hui.

Le traçage consiste en un réseau de galeries rectangulaires en demi-pente, groupées autour de deux grands plans inclinés. Elles ont 2 mètres de hauteur (c'est-à-dire qu'elles s'arrêtent au premier des deux nerfs d'argile dont je parlais tout à l'heure) et 1m,90 de largeur. Elles partagent le massif en piliers carrés de 10 à 15 mètres de côté.

Le mode de dépilage ne diffère de celui adopté par la Société de Brüx qu'en ce que le havage vertical exécuté sur les quatre faces du pilier se fait en deux fois. La première fois on ne le pousse que jusqu'à 5m,50 au-dessus du mur, soit jusqu'au milieu de la couche; on enlève les étais et un premier éboulement se produit. Le charbon enlevé, on exécute un nouveau havage, jusqu'à 9 mètres du mur, c'est-à-dire jusqu'au niveau du deuxième nerf argileux, et l'on attend qu'une seconde partie du charbon tombe d'elle-même.

Mais ce travail est très dangereux, car cette fois le toit n'est plus étayé. Aussi arrive-t-il souvent que l'éboulement se produit avant que ce havage soit entièrement terminé. On est alors obligé de faire tomber avec de longues perches le charbon adhérent au second nerf.

Enfin on détermine la chute de la partie supérieure, adhérente au toit, comme à la mine de la société de Brüx, au moyen d'un petit pilier supplémentaire, de 3 mètres d'épaisseur, que l'on isole, par un havage, du côté du massif, et que l'on fait ébouler en enlevant les étais qui le supportent.

Quelquefois aussi on se contente de percer au plafond un trou qui s'agrandit de lui-même par éboulement progressif.

4° *Mine Nelson-Colliery, à Dux.* — La couche a 14 mètres de puissance et se trouve coupée, à 4 mètres du toit, par un nerf argileux de $0^m,30$ d'épaisseur. Son pendage est, en moyenne, de 10°.

Le traçage découpe le massif en piliers carrés de 10 mètres de côté dans les parties inclinées, de 20 mètres dans les plateurs.

La première partie du dépilage comprend d'abord, comme dans les mines précédemment citées :

1° Une sous-cave horizontale de $2^m,25$ de hauteur, étayée, avec mur de protection de 3 mètres du côté des vieux travaux ;

2° Un havage vertical sur les quatre côtés du pilier, exécuté en une ou plusieurs fois, suivies chacune d'un éboulement partiel et de l'enlèvement du charbon abattu. Quand on pratique l'éboulement en deux fois, on n'étaye que pour le premier havage.

A partir de ce moment, la méthode s'écarte de celles décrites précédemment. On perce, sur deux côtés opposés du chantier, deux petites cheminées verticales *aa* (voir *fig.* 5, 6, Pl. VI) que l'on pousse jusqu'au nerf argileux. Puis on pousse, tout autour du pilier et immédiatement au-dessous de ce nerf, une petite galerie circulaire de $0^m,70$ de largeur et de 2 mètres de hauteur, à partir de laquelle on exécute un havage vers le haut, de manière à isoler le massif de charbon le plus complètement possible du toit.

Dans les parties horizontales, on enlève de cette manière deux piliers voisins de suite. On obtient ainsi un espace vide de 32 mètres de long sur 16 mètres de large, qu'au bout de quelques semaines les argiles du toit viennent combler. On économise, par ce moyen, la moitié des murs

de protection et l'on réduit d'une façon notable la perte en charbon.

Cette méthode présente sur les précédentes cet avantage que l'on peut pousser plus loin le dernier havage et obtenir ainsi une fraction plus considérable du charbon adhérent au toit. A ce point de vue, on doit la préférer à celles qui sont fondées sur l'éboulement d'un petit pilier supplémentaire.

Les quatre méthodes précédentes rendent de 50 à 70 p. 100 du charbon utilisable.

2° *Méthodes par foudroyage en une seule tranche et par grands piliers.* — Ces méthodes ne diffèrent des précédentes qu'en ce que le traçage y est exécuté à grandes mailles de 50 à 100 mètres de côté. On s'avance ainsi jusqu'aux limites du champ d'exploitation, puis on dépile en rabattant vers le puits, et en recoupant chaque grand pilier en plusieurs autres, de dimensions variables avec la nature du charbon et la solidité du toit.

Ces méthodes rendent de 60 à 80 p. 100 du charbon disponible. Elles sont cependant moins répandues que les précédentes.

β. *Méthodes par foudroyage en plusieurs tranches.* — 1° *Tranches inclinées.* — Elles ne diffèrent des méthodes précédentes qu'en ce que la couche est prise ici en deux ou plusieurs fois.

Ce principe a été d'abord appliqué, à titre d'essai, dans la région de Teplitz. Mais, bien qu'il ait donné de bons résultats pour la tranche supérieure, on a dû l'abandonner, parce qu'il ne répondait pas aux conditions naturelles du gisement dans cette partie du bassin.

Il est actuellement appliqué avec succès dans plusieurs mines du bassin de Falkenau. J'en citerai seulement quelques exemples pris dans la région de Dux.

1° *Mine de l'Union, à Dux.* — La couche principale y possède une puissance qui, en certains points, atteint 36 mètres. Son inclinaison varie de 12 à 20 degrés.

Les argiles du toit renferment de nombreux bancs intercalaires de sables aquifères, très dangereux pour l'exploitation : aussi rencontre-t-on partout dans la mine des traces de leur irruption. Ils ont parfois rempli des quartiers entiers.

La couche est prise en deux tranches, dont l'une, la tranche inférieure n'a que 8 mètres d'épaisseur.

Le traçage dans la tranche supérieure se compose de galeries à demi-pente menées à angle droit, distantes de 20 mètres les unes des autres, et se reliant à un grand niveau de roulage qui aboutit à la recette inférieure du puits.

Dans la tranche inférieure au contraire, le traçage, seulement esquissé, découpe le gîte en grands massifs de 80 mètres de long sur 40 mètres de large. Il se relie par un travers-bancs à la même recette du puits.

La tranche supérieure est seule en dépilage. Le travail se fait par gradins et dans l'ordre indiqué par le tableau de la *fig.* 7, Pl. VI. Les numéros indiquent la marche suivie pour l'enlèvement des piliers. Les numéros identiques indiquent les carrés qui sont dépilés en même temps.

On commence par exécuter, sur les deux côtés du massif aboutissant à la galerie de roulage *g*, un havage vertical *hh* de 6 mètres de hauteur (voir *fig.* 8 et 9, Pl. VI). Puis on fait, à la base, une sous-cave de 2 mètres de hauteur, en laissant toutefois, du côté des éboulements, des murs de protection de 2 mètres d'épaisseur, et une patte *p* de 4 mètres sur 4 mètres au débouché de la voie de roulage. Ces murs et cette patte soutiennent, concurremment avec les buttes, la masse supérieure pendant l'exécution de cette première partie du travail.

On enlève ensuite les bois et l'on fait sauter la patte à la dynamite. L'éboulement se propage jusqu'au niveau du

sommet du havage. On déblaye rapidement, puis on provoque l'éboulement des 2 à 3 mètres de charbon restant au toit, au moyen de coups de mine ou de petits havages latéraux.

Quand tout le charbon est enlevé, on détermine la chute du toit lui-même à l'aide d'un pétard de dynamite placé au centre du plafond. En prévision de l'irruption des sables aquifères du toit, on tient toujours prêts, à ce moment, de forts serrages en briques en σ et σ'.

Cette méthode est moins dangereuse que beaucoup des précédentes. Toutefois l'enlèvement des piliers marqués *s* sur le tableau de la figure 7 présente des difficultés particulières, à cause de l'énorme pression qu'ils supportent. On est obligé d'y laisser, pendant la première période du travail, plusieurs pattes de soutènement, telles que *p*, pour maintenir le toit ; on n'exécute d'autre part que des havages peu élevés. On fait sauter les deux ou trois pattes du même coup, à la dynamite.

Variante. — Dans quelques cas particuliers, on abandonne, à la mine de l'Union, la méthode précédente. On prend des piliers plus petits, de 10 mètres seulement de côté, dont on enlève à la base une première tranche de 3 mètres, en boisant au fur et à mesure. On pratique ensuite un havage vertical de 3 mètres de hauteur sur les quatre faces du massif ; puis on enlève les bois, et il se produit un premier éboulement. On déblaye, on étaye le toit à l'aide de buttes plus longues (6 mètres), et l'on exécute un second havage de 3 mètres, à la suite duquel on provoque un nouvel éboulement en enlevant les bois. On continue de la même manière jusqu'à ce que tout le charbon soit descendu, et on termine par un coup de dynamite au plafond, pour faire tomber les argiles du toit.

2° *Méthodes par foudroyage en plusieurs tranches horizontales.* — Ces méthodes sont généralement réservées aux

portions de couches très inclinées. On divise celles-ci, par des plans horizontaux, en tranches de 7 à 8 mètres de hauteur que l'on dépile ensuite successivement en procédant de haut en bas.

Je ne citerai que deux applications de cette méthode :

1° *Mine de la Banque anglo-autrichienne, à Obergeorgenthal.* — La couche a une puissance présumée de 40 mètres; son pendage varie de 19° à 21°. L'extraction se fait par le puits *Glück-Auf*, profond de 74 mètres. On a ouvert dans ce puits quatre recettes, correspondant à quatre tranches superposées de $7^m,58$ d'épaisseur chacune. La tranche supérieure, seule, est tracée et en exploitation. Le dépilage se fait comme à la mine de Fortschritt, à cette différence près qu'on ne fait de havage vertical que sur deux côtés du massif et sur toute la hauteur de l'étage.

2° *Mine de la Société de Brüx, à Tschausch,* près Brüx. — On applique cette méthode dans la portion fortement inclinée de la couche. Les tranches ont 8 mètres de hauteur. Chacune d'elles est découpée, par un traçage à mailles rectangulaires, en piliers carrés de 20 mètres de côté.

Au moment du dépilage, on recoupe, par des galeries percées en croix, chaque pilier en plusieurs autres plus petits. Cela fait, on coupe le pied d'un certain nombre sur une hauteur de $2^m,25$, en procédant successivement d'une manière méthodique, de manière que les piliers restants suffisent à maintenir le toit. Dès qu'il n'en reste plus qu'un petit nombre d'intacts et que le travail commence à devenir dangereux, on se retire et on les attaque à distance avec de longues perches, de manière à provoquer leur éboulement. Celui-ci amène, à bref délai, la chute de la masse charbonneuse tout entière. Si le charbon tombe seul, on l'enlève rapidement; mais s'il est accompagné des argiles du toit, on abandonne le chantier en établissant

au plus vite les serrages. Le charbon est, dans ce cas, en grande partie perdu. On laisse, de temps en temps, un pilier comme massif de protection.

Cette méthode est, comme on le voit, très défectueuse et entraîne la perte d'une partie notable du charbon.

d. Exploitation par tranches horizontales remblayées. — Cette méthode, relativement coûteuse, n'est applicable qu'aux charbons de qualité supérieure. Aussi ne la rencontre-t-on guère en Bohême que dans quelques mines du district de Falkenau, donnant un lignite gras (*Gaskohle*), collant, très estimé.

COMPARAISON ET CRITIQUE DE CES DIFFÉRENTES MÉTHODES. — L'exploitation à ciel ouvert n'est praticable que dans des cas tout à fait particuliers; elle ne peut, par suite, être appréciée dans une comparaison générale. Je dirai toutefois que la méthode usitée à la mine de la Compagnie du chemin de fer de Dux à Bodenbach, décrite plus haut, paraît tout à fait rationnelle au point de vue de la bonne utilisation du gîte.

Les méthodes par piliers abandonnés doivent être condamnées en principe comme sacrifiant trop de charbon.

L'exploitation par tranches horizontales remblayées serait, de toutes ces méthodes, la plus rationnelle, si, comme j'ai déjà eu occasion de le dire, les frais élevés qu'elle entraîne ne la rendaient impraticable dans la plupart des cas.

Restent les méthodes par foudroyage, les seules qui paraissent compatibles avec le prix de vente minime du combustible.

Ce sont de beaucoup les plus usitées. Mais, outre la perte considérable qu'elles entraînent, elles apportent malheureusement avec elles de graves inconvénients, dont l'influence se fait sentir de plus en plus, à mesure que, par-

tout, commence à succéder à la période de traçage l'ère du dépilage proprement dit.

Par les vides énormes qu'elles laissent dans les travaux, elles provoquent des affaissements irréguliers du sol et donnent lieu, pour les propriétés bâties et les voies de communication, si nombreuses dans toute cette région, à des dégâts très onéreux pour les exploitants.

De plus, en disloquant les argiles du toit, elles favorisent l'infiltration des eaux de la surface dans les vides souterrains et rendent l'épuisement de jour en jour plus difficile.

En outre, ce qui est plus grave, elles permettent, par l'effet de cette dislocation, l'irruption dans les chantiers des eaux et des sables aquifères qui existent souvent dans les couches du toit, sous forme de masses lenticulaires, au voisinage surtout des nappes et des percées de basalte. Ces eaux, ou ces boues liquides, envahissent les galeries avec une effrayante rapidité, et remplissent parfois en peu d'instants une mine entière. C'est ce qui est arrivé, par exemple, à Dux en 1879 (*). Il est vrai que dans certaines mines, à Schwatz, par exemple, on parvient à conjurer ce danger en se faisant précéder à l'avancement par des trous de sonde percés au toit, au moyen desquels on soutire l'eau des sables.

Enfin le charbon très inflammable, abandonné en grande quantité au toit des chambres de foudroyage, provoque de

(*) Le 10 février 1879 la mine de Dollinger, près Dux, fut entièrement envahie par l'eau. En moins de 24 heures 400.000 mètres cubes d'eau remplirent les travaux. Les mines voisines : Nelson, Fortschritt, Victorin, Gisela, furent également inondées. Il y eut 23 hommes noyés. La source connue sous le nom de *Riesenquelle*, sur la route de Dux à Teplitz, et dont j'ai dit un mot plus haut, disparut. La source thermale de Teplitz fut elle-même atteinte, et l'on conçut un instant de graves inquiétudes à ce sujet. Heureusement elle a repris depuis son cours normal. Mais les installations en vue de l'asséchement des mines inondées, à savoir le fonçage d'un puits spécial et l'établissement de pompes puissantes, n'étaient pas encore en état de fonctionner un an après l'accident.

fréquents incendies. Parfois, il est vrai, on peut, dès le début, les combattre efficacement au moyen de rapides courants d'air frais, qui permettent de dépiler rapidement les parties échauffées, dont on amène immédiatement les produits au jour pour les refroidir.

On est, dans ce cas, obligé de consolider par des piliers en maçonnerie les vides immenses ainsi créés (*).

Mais plus souvent encore on est obligé de barrer les quartiers en feu et de les abandonner complètement.

Avantages et inconvénients des différentes méthodes par foudroyage. — Le foudroyage, en une seule tranche, par petits piliers, permet de multiplier à volonté le nombre des chantiers de traçage ou de dépilage, et par suite, à un moment donné, d'augmenter considérablement la production.

C'est assurément un avantage fort appréciable que celui de pouvoir régler d'une manière presque rigoureuse l'exploitation d'une mine sur les besoins de la consommation; mais il y a lieu de se demander si cet avantage n'est pas compensé, et au delà, par les inconvénients multipliés qu'entraîne cette méthode.

Aussitôt, en effet, que le traçage est terminé, alors même que le charbon est solide et qu'on a pu se dispenser de boiser les galeries pendant leur percement, celles-ci ne tardent pas à se détériorer, surtout vers les croisements, par l'effet de la pression du toit. Le charbon s'effrite et tombe en menus morceaux, de telle sorte qu'au bout de peu de temps il devient nécessaire de consolider les points faibles par des boisages ou des muraillements.

La répartition de l'aérage est également chose fort difficile au milieu de ce dédale de galeries; aussi, dès qu'un

(*) Il existe dans la mine de la Compagnie du chemin de fer de Dux à Bodenbach un semblable vide, mesurant 66 mètres de long sur 6 de large et 8 de haut, soutenu par de nombreux piliers.

incendie se manifeste quelque part, à la suite d'un éboulement, par exemple, est-on obligé, la plupart du temps, de barrer le quartier et de l'abandonner en sacrifiant ainsi de vastes massifs. Il n'y a pas, en effet, possibilité de lutter contre la rapide propagation du feu, attisé par l'afflux d'air qui arrive de tous côtés.

Le mode seul de traçage entraîne donc déjà par lui-même des pertes importantes.

Ces pertes sont plus grandes encore dans le dépilage, surtout lorsqu'on ne pousse pas le havage vertical jusqu'au toit lui-même : l'éboulement ne se fait, en effet, dans ce cas, que très imparfaitement et en forme de cloche. De plus, le charbon étant fatigué, on en obtient une très grande partie à l'état de menu. Il faut ajouter à cela les murs de charbon entièrement perdus qu'on est obligé de laisser, comme protection contre les incendies et les inondations. Tout compte fait, cette méthode ne permet guère d'extraire plus de 40 à 50 p. 100 du charbon disponible.

Le foudroyage par grands piliers, par cela seul qu'il exige un traçage plus sommaire, évite une partie des inconvénients que je viens de signaler. Il nécessite moins de frais d'entretien pour les galeries; il permet de circonscrire et d'isoler plus facilement les foyers d'incendie; il fatigue moins le charbon et donne par suite moins de menu au dépilage : il n'est dès lors pas étonnant de voir le rendement moyen s'élever ici à 60 ou 80 p. 100 du charbon exploitable.

L'exploitation par tranches inclinées est naturellement indiquée toutes les fois que la couche est interrompue par des nerfs argileux, assez épais pour qu'on n'ait pas à craindre de voir les incendies des vieux travaux supérieurs se propager à travers ces nerfs jusque dans les chantiers de l'étage inférieur.

Elle peut également être pratiquée quand les argiles du toit sont peu pyriteuses ou bien encore quand le toit remplit,

en s'éboulant, tous les vides et s'oppose ainsi à la naissance spontanée des incendies.

L'exploitation par tranches horizontales s'applique plus spécialement aux cas où la couche possède une puissance exceptionnelle ou une inclinaison très prononcée. Elle peut se combiner, ainsi que la précédente, avec le foudroyage par grands ou par petits piliers et participe alors aux avantages et aux inconvénients sus mentionnés de ces deux manières de procéder.

A toutes les causes de déchet signalées dans les méthodes précédentes, il convient d'ajouter l'émiettement du charbon au jour, sous l'influence de l'air. On voit qu'en résumé, et par suite de ces influences diverses, le rendement des méthodes d'exploitation, même les meilleures, usitées dans le bassin, ne dépasse guère 50 à 60 p. 100 du charbon utilisable.

D. — Roulage.

La régularité et la puissance exceptionnelles de la couche, d'une part, et de l'autre, la solidité du charbon qui dispense de boiser les galeries, ont permis d'établir, dans presque toutes les exploitations, un réseau de voies de roulage hautes et spacieuses. J'ai dit plus haut que les grands niveaux de la mine Britannia n'ont pas moins de 4 mètres de largeur et $2^{m},50$ de hauteur.

Dans de pareilles conditions, la traction par chevaux est possible presque partout, et les voies ferrées, partant du puits, pénètrent jusqu'aux chantiers mêmes de dépilage. Les bennes sont roulées par les piqueurs eux-mêmes jusqu'aux plans inclinés, au bas desquels elles sont formées en trains et emmenées par des chevaux jusqu'au puits d'extraction.

A la mine Britannia, les trains sont composés de dix bennes et conduits par un cheval au trot sur des niveaux de roulage de 400 à 500 mètres de longueur.

La mine de Brüx possède plus de 400 mètres de voie

Vignole de $0^m,480$ de largeur, pesant 9 kilogrammes le mètre courant (soit $4^{kg},5$ par rail) pour les lignes secondaires, et 15 kilogrammes pour les lignes principales.

On emploie comme traverses des buttes de soutènement hors d'usage, que l'on refend et qu'on débite ensuite à la longueur voulue.

Les bennes sont en bois, avec armatures en fer. Leur forme est parallélipipédique. Elles ont de $1^m,30$ à $1^m,40$ de longueur, de $0^m,80$ à $0^m,90$ de largeur, et de $0^m,80$ à 1 mètre de hauteur. Elles contiennent en général de 500 à 650 kilogrammes de charbon. A la mine du Domaine, à Brüx, elles sont portées par quatre roues en acier Bessemer, pesant 9 kilogrammes chacune. Leur prix atteint en moyenne 110 à 120 francs.

Traction mécanique de la mine Fortschritt. — Depuis 1875, le roulage par chevaux est complètement remplacé à la mine Fortschritt par une traction mécanique par câble traînant sans fin, des mieux établies.

Il n'existe en France, à ma connaissance, aucune installation de ce genre. De plus, le fait que la couche exploitée ici est une des plus tourmentées du bassin, répond à l'objection qu'on a faite parfois à ce système, de n'être avantageusement praticable que dans des couches plates et d'une régularité absolument théorique.

J'ai cru trouver dans ces deux circonstances des motifs suffisants pour m'engager à décrire cette installation avec quelques détails.

Cette traction mécanique dessert le grand niveau de roulage, ainsi que quelques travers-bancs qui le croisent à angle droit. Ces galeries sont toutes à double voie. Le câble sans fin est en acier et mesure environ 17 millimètres de diamètre; il traîne directement sur le sol. Il est mis en mouvement par une locomobile de 15 chevaux, à deux cylindres, installée au jour sur un ancien puits, profond

de 70 mètres, par lequel le câble descend. Une série de roues dentées *bb' cc'* (voir *fig.* 1 et 2, Pl. VII) transmettent le mouvement à une poulie à gorge articulée C (voir la section, *fig.* 3) sur laquelle s'enroule le câble sans fin, que des poulies tendeuses horizontales DD et verticale E empêchent de glisser. Les deux brins descendent ensemble dans le puits, à la base duquel deux petites poulies verticales HH les renvoient dans le grand niveau de roulage. Une poulie horizontale K les amène à leur écartement normal, dans l'axe de chacune des deux voies. Des rouleaux en fonte L, alternant avec de petites poulies verticales, sont disposés de distance en distance pour les soutenir. Des poulies horizontales NN les renvoient, quand il y a lieu, dans les travers-bancs latéraux. Des plaques de fonte spéciales M permettent aux bennes de passer de ces derniers dans le niveau du fond et réciproquement.

Chaque train, composé habituellement de 22 bennes et accompagné d'un conducteur, est attelé au câble à l'aide d'une tenaille particulière, attachée par une chaîne à l'anneau d'accrochage de la première benne. Cette tenaille est représentée dans les *fig.* 4 et 5 de la Pl. VII. Le conducteur, les pieds sur le câble et le dos appuyé contre la benne, tient constamment la tenaille en main. Au passage des plaques de fonte, il lâche momentanément le câble; en vertu de la vitesse acquise, le train continue sa marche, et dépasse la plaque au delà de laquelle le conducteur ressaisit le câble. Au passage des rouleaux et des poulies, la tenaille éprouve seulement un léger choc, grâce à une petite manœuvre spéciale du conducteur.

La vitesse du train est d'environ 100 mètres par minute. C'est à peu près celle d'un homme marchant au pas accéléré.

Un fil télégraphique circule sur tout le parcours du câble et communique avec une sonnerie électrique placée au jour, à portée du mécanicien. Ce fil est double, et les deux brins

ne sont recouverts d'aucune enveloppe isolante. Ce sont simplement deux fils de fer fixés à l'une des parois de la galerie à l'aide de petites fiches en bois, et maintenus normalement écartés d'une dizaine de centimètres l'un de l'autre. Un accident se produit-il, une rupture de câble, par exemple, le conducteur rapproche les deux fils en les serrant entre les doigts et transmet les signaux convenables au mécanicien, en fermant et ouvrant ainsi alternativement le circuit. Ces signaux sont d'ailleurs identiques à ceux de la sonnette de la machine d'extraction.

Les ruptures de câble sont assez fréquentes; mais grâce à des rallonges avec vis de tension, toutes préparées d'avance et déposées de distance en distance, elles ne demandent que quelques minutes de réparation.

On a, de plus, avantageusement tiré parti de cette traction mécanique pour faire l'exploitation en vallée d'une partie de la couche rejetée en contre-bas, et reliée au grand niveau du roulage par une descente inclinée de 15 degrés. Cette descente se prolonge par une galerie horizontale de roulage de 200 mètres de longueur, sur laquelle vient se greffer le traçage de cette partie de la couche.

La descente est à une seule voie, et desservie par un câble spécial. Quand on veut remonter une benne, on l'attache à l'extrémité inférieure de ce câble, tandis qu'on relie momentanément l'autre extrémité au brin moteur qui circule dans le grand niveau supérieur. Le câble de la descente se trouve ainsi entraîné et la benne avec lui.

Pour descendre une benne vide, il suffit de fixer la chaîne d'accrochage de la tenaille à un poteau solide Z (voir *fig.* 6, Pl. VII) établi à la tête de la descente et de laisser ensuite filer le câble entre les joues de la tenaille; ce qui permet d'en modérer à volonté la vitesse. Un seul receveur suffit pour toutes ces manœuvres.

On a évité, par cet expédient fort simple, l'installation coûteuse d'une traction par treuil.

E. — EXTRACTION.

Les puits sont en général entièrement dans l'argile.

Je citerai seulement l'exemple du fonçage du puits n° 3 de la mine Britannia. A partir d'une dizaine de mètres de la surface, l'argile devint tellement dure qu'elle ne se laissait plus attaquer par le pic, sous lequel elle rebondissait. La poudre même ne produisait qu'un faible effet, et l'on dut recourir à la dynamite pour achever le travail. Ce puits mesure $3^m,40$ de diamètre et 162 mètres de profondeur. Il est entièrement muraillé en briques. On a effectué cette opération à partir du bas, et en enlevant au fur et à mesure les cadres de charpente.

A la mine du Domaine, à Brüx, on a foncé en même temps, à une trentaine de mètres de distance l'un de l'autre, deux puits de 111 et 119 mètres de profondeur, avec 2 mètres sur $3^m,50$ de section. L'un sert à l'extraction et l'autre à l'épuisement. Ces puits sont presque entièrement dans l'argile. Ils sont muraillés sur 12 mètres à partir du jour. Le fonçage a coûté seulement 30 francs par mètre, tous frais compris. La *fig.* 8, Pl. VII, représente, en plan, les installation extérieures. Les chaudières sont établies dans l'intervalle qui sépare les deux puits. Elles alimentent à la fois la machine d'extraction et la machine d'épuisement, ainsi qu'un monte-charge à vapeur et la machine motrice de l'atelier de criblage.

Le chevalement extérieur du puits n° 3 de la mine Britannia est à la fois un modèle d'élégance et de simplicité. La *fig.* 7, Pl. VII, en représente le croquis.

Ce chevalement est entièrement en charpente. Il se compose essentiellement de quatre fortes poutres en sapin, de $0^m,35$ à $0^m,40$ d'équarrissage, dont deux, DD, sont dressées verticalement au bord du puits et reliées au sommet par une traverse *d*, tandis que les deux autres, F F, assem-

blées avec les premières au niveau des molettes, sont inclinées parallèlement à la direction moyenne des deux câbles b_1 et b_2. Des entretoises et des jambes de force, I, J, K, L, augmentent la rigidité du système. L'axe C des molettes se projette sur la bissectrice de l'angle formé par les pièces D et F.

On voit, à la seule inspection de la figure, que les résultantes des efforts exercés par les câbles sur les deux molettes viennent sensiblement passer en projection par le point O. Là, ces résultantes peuvent de nouveau se décomposer en deux actions, dirigées respectivement suivant les axes des pièces D et des pièces F, et par suite neutralisées.

Depuis plusieurs années qu'il est établi au puits Britannia, ce chevalement n'a subi que des réparations sans importance. Cette disposition, imaginée par M. Purgold, ingénieur de la mine, pourrait être avantageusement reproduite toutes les fois que l'on a à armer un puits de faible durée.

Les machines d'extraction sont habituellement horizontales, à deux cylindres et à connexion directe. Leur force varie généralement de 15 à 60 chevaux ; celle du puits Britannia n° 3 atteint cependant 120 chevaux. Un certain nombre de puits moins importants possèdent seulement une machine locomobile. Enfin beaucoup de petits puits des anciennes exploitations sont encore munis de manèges à chevaux, ou même simplement de treuils à bras.

On emploie presque partout des câbles ronds en acier. Ceux du puits n° 3 de la mine Britannia mesurent $0^m,026$ de diamètre. Leur durée moyenne est de trois ans, correspondant à une extraction d'environ 300.000 tonnes de charbon.

Les cages sont en général dirigées par des guidonnages en bois et munies de parachutes. Les plus employés sont les parachutes à excentriques dentés, qui mordent et s'arcboutent sur le guidonnage.

On a appliqué au puits n° 1 de la mine Nelson-Colliery un évite-molettes assez ingénieux que représentent les *fig.* 9 et 10 de la Pl. VII (voir, pour la description, la légende des planches). Mais ce système ne s'est pas répandu, peut-être à cause du poids mort assez important qu'il ajoute à l'appareil.

Les cages ne contiennent en général qu'une seule benne; ce qui, pour les fortes productions, oblige à donner aux câbles une vitesse considérable.

A la mine Fortschritt, par exemple, on extrait en moyenne par minute, avec une machine de 40 chevaux à deux cylindres, deux bennes et demie (représentant environ 1.000 à 1.200 kilog. de charbon), d'une profondeur de 70 mètres, ce qui correspond à une extraction de 150 bennes par heure et à une vitesse moyenne de 2^m,80 par seconde pour les cages.

Au puits n° 3 de la mine Britannia, on extrait, une à une avec une machine de 120 chevaux, 100 bennes à l'heure, d'une profondeur de 160 mètres, ce qui correspond pour les cages à une vitesse moyenne de 4^m,45 par seconde.

On n'a pu arriver à des résultats aussi remarquables qu'en faisant un large emploi de la contre-vapeur. Le frein ordinaire n'est qu'une ressource pour le cas d'accidents.

De plus, les recettes au fond et au jour sont aménagées en vue d'une extraction très rapide; l'échange des bennes vides et des bennes pleines s'y fait avec une grande rapidité.

L'extraction ne se fait en général que pendant le jour; elle oscille, pour les deux mines précédemment citées, entre 500 et 800 tonnes par poste.

Les puits ont souvent plusieurs recettes immédiatement superposées, correspondant, au fond, à des tranches différentes et au jour, à des niveaux divers, en relation avec les ateliers de triage ou avec les quais de chargement des wagons d'expédition.

Le puits *Glück-Auf* de la mine de la Banque anglo-autrichienne à Obergeorgenthal a, au fond, quatre recettes superposées, à $7^m,50$ l'une de l'autre, et correspondant à des étages différents.

Au puits principal de la mine de la Compagnie du chemin de fer de Dux-Bodenbach, la recette au jour est à deux étages. Le rez-de-chaussée reçoit les bennes de gros, trié dans la mine même par les piqueurs : elles sont immédiatement conduites au quai de chargement des grands wagons. Le premier étage est réservé au tout-venant. Il se rend de là aux appareils de classement et redescend, en traversant ces derniers, au niveau du quai. Pour augmenter la rapidité de l'extraction, on a établi la recette du fond avec trois voies : l'une pour les bennes de gros, la seconde pour le tout-venant, la troisième pour les bennes vides. Pendant que la voie au tout-venant s'emplit, on fait l'extraction du gros; puis, dès que celui-ci est momentanément épuisé, les receveurs au jour, à un signal donné du fond, montent à l'étage supérieur pour recevoir le tout-venant. On revient ensuite au gros, dont la voie s'est pendant ce temps remplie de nouveau.

F. — Triage et expédition.

Les piqueurs trient eux-mêmes le gros charbon, dans les chantiers de traçage ou de dépilage. Ils le chargent dans des bennes à part. Le tout-venant est trié seulement au jour dans des ateliers spéciaux adossés au puits d'extraction.

Au puits Christiania de la mine de la Compagnie du chemin de fer de Dux-Bodenbach, on a installé, à la recette du fond, un appareil de triage, de manière à pouvoir continuer cette opération pendant les grands froids de l'hiver. Le charbon sort ainsi tout classé.

Le triage est fait tantôt par des cribles à secousses, disposés les uns au-dessus des autres, comme à la mine du

Domaine, ou à la mine de la Société de Brüx, par exemple, tantôt au moyen de trommels percés de trous de différents diamètres, comme à la mine Britannia, tantôt à l'aide d'une combinaison de ces deux genres d'appareils, comme à la mine Fortschritt.

Pour les grosses sortes, les cribles sont formés de barreaux longitudinaux; ils sont à mailles hexagonales pour les petites. Des monte-charges ou des norias remontent les charbons classés au niveau des trommels ou des cribles. Tous ces appareils sont mus en général par une petite machine à vapeur de 2 ou 3 chevaux.

Le mode de classement des charbons varie, pour ainsi dire, d'une mine à l'autre. Les proportions respectives des diverses sortes fournies par le triage sont aussi très différentes suivant la méthode adoptée pour l'exploitation, la nature du charbon, la durée de son exposition à l'air, etc.

Dans les mines de la région de Karbitz-Teplitz les produits de l'extraction se répartissent au triage comme l'indique le tableau suivant :

DÉSIGNATION des sortes.	MODE de triage.	MINIMUM de dimensions linéaires.	PROPORTION pour 100 de charbon extrait.
		mètres	
Charbon gros (*Stückkohle*)	Trié à la main	0,160	50
Grosse gaillette (*Mittelkohle I*)	Criblé	0,045	25
Petite gaillette (*Mittelkohle II*)	Id.	0,035	10
Grosse dragée (*Nusskohle I*)	Id.	0,015	5
Petite dragée (*Nusskohle II*)	Id.	0,007	4
Menu (*Staubkohle*)	Id.	»	6

Ces chiffres n'ont d'ailleurs rien d'absolu et ne doivent être regardés, dans la plupart des cas, que comme une première approximation.

Ainsi certaines mines, celle de Britannia, par exemple, donnent une proportion un peu plus élevée de gros : elle

peut atteindre 55 p. 100. On obtenait autrefois jusqu'à 65 p. 100; mais depuis quelques années, ce chiffre n'a cessé de baisser par suite de l'écrasement progressif du charbon, occasionné par le dépilage sans remblai.

A la mine du Domaine, les produits classés se rassemblent dans des trémies disposées au-dessous de chaque appareil. Une série de voies parallèles permettent d'amener les wagonnets au-dessous de ces trémies et d'y faire tomber le charbon en ouvrant un registre. Les wagonnets pleins sont ensuite enlevés par un monte-charge au niveau des culbuteurs et, de là, déversés directement soit dans les wagons d'expédition, soit sur le stock de dépôt, soit sur les haldes lorsqu'il s'agit de menus.

Les charbons mis provisoirement en dépôt doivent être repassés au crible au moment de l'expédition. J'ai déjà dit en effet qu'ils s'effritent très rapidement à l'air.

La plupart des exploitations sont reliées aux chemins de fer voisins par des voies de raccordement. Le chargement des wagons d'expédition se fait dans ce cas sur le carreau même de la mine.

Quelquefois, cependant, ce chargement se fait à la station la plus proche. Ainsi la recette au jour du puits *Glück-Auf* de la mine de la Banque anglo-autrichienne est reliée à la station voisine par un plan incliné à voie étroite de 1.700 mètres de longueur, avec une pente de $\frac{1}{25}$. Les bennes, formées en trains, descendent au frein jusqu'à la station. Un cheval, placé à la descente dans un wagon spécial, remonte le train vide.

Un seul cheval peut faire ainsi, par jour, 10 voyages de 6 bennes chacun : ce qui correspond à la charge de 3 ou 4 grands wagons. Les frais de ce roulage s'élèvent à $0^f,13$ par tonne.

G. — SERVICES ACCESSOIRES.

a. *Épuisement.*—Pour les puits entièrement creusés dans l'argile, le fonçage se fait presque sans eau, jusqu'à la rencontre du charbon, et ne nécessite habituellement pas de pompes. La couche même de lignite est, au contraire, généralement aquifère. Mais rien n'égale à cet égard le danger des grès et des sables intercalés dans le toit de la couche. Ces derniers sont même d'autant plus à craindre qu'ils mettent rapidement les pompes hors d'usage, et cela au moment où elles seraient le plus nécessaires.

Dans la période d'exploitation, la venue d'eau est considérable et ne fait que croître avec le temps. L'épuisement, qui, au début, pouvait être fait simplement par des bennes, dans les intervalles de l'extraction, nécessite aujourd'hui presque partout des machines et même des puits spéciaux.

Les eaux sont en général très acides et attaquent rapidement les parties métalliques des pompes. On a dû renoncer, dans plusieurs mines, à les employer pour l'alimentation des chaudières.

Dans certaines régions du bassin, les exploitants se sont réunis en syndicats pour faire l'épuisement à frais communs et restreindre les dépenses provenant de ce chef. C'est ainsi, par exemple, que la mine Nelson-Colliery est chargée de ce service pour les mines des environs de Dux.

Les machines d'épuisement actuellement en service ont une force variant de 40 à 200 chevaux. On en trouve un assez grand nombre du système de Cornouailles.

La mine du Domaine possède deux machines de ce type, l'une de 40 chevaux, établie sur le puits François, la seconde de 80 chevaux, établie sur l'un des deux puits Jules II dont j'ai décrit précédemment l'installation générale. Cette dernière machine puise les eaux à 140 mètres de profondeur à l'aide

de deux pompes élévatoires combinées avec une pompe foulante établie à 97 mètres du jour. Le diamètre du cylindre de la machine est de $1^m,26$; la course du piston de $2^m,85$. La maîtresse tige est attachée directement à la tige du piston. Elle est formée de pièces carrées de bois blanc de 10 mètres de longueur chacune de $0^m,37$ de côté, reliées entre elles par de vieux rails boulonnés.

Les pompes élévatoires sont formées d'un corps de pompe de $0^m,36$ de diamètre et de $3^m,20$ de hauteur. Les tubes d'exhaustion ont $0^m,42$ de diamètre. Le piston plongeur de la pompe foulante a $0^m,48$ de diamètre. Les soupapes sont à clapets avec garniture de cuir. On tend toutefois à revenir aux clapets à charnière métallique. La colonne d'exhaustion a $0^m,35$ de diamètre. Une partie de l'eau est employée pour l'alimentation des chaudières.

Au puits n° 3 de la mine Britannia, les eaux sont extraites à la profondeur de 162 mètres par une double pompe élévatoire mue par une machine de 160 chevaux. La course du piston à vapeur est de $1^m,90$; son diamètre $1^m,20$. La *fig.* 11, pl. VII, représente le mode de transmission du mouvement du piston de la machine aux tiges des deux pompes. Par suite de leur disposition même, celles-ci se font mutuellement équilibre. Les machines d'épuisement et d'extraction fonctionnent alternativement 12 heures chacune, de manière à utiliser les mêmes chaudières. L'épuisement a lieu, naturellement, pendant la nuit.

L'épuisement de la mine de la Société de Brüx se fait tout entier par le puits Anna, le plus profond des trois (92 mètres). On extrait de 800 à 1.000 litres à l'heure avec une machine de 60 chevaux, disposée comme celle du puits Britannia. La course du piston à vapeur est de $1^m,30$ et son diamètre de $0^m,74$. La pompe élévatoire remonte d'abord les eaux de 18 mètres; la pompe foulante les refoule ensuite jusqu'au jour (74 mètres). Le diamètre des pistons des deux pompes est de $0^m,34$.

Les pistons des pompes élévatoires présentent une particularité intéressante. Au lieu d'une garniture ordinaire de cuir, ils portent, sur leur face supérieure, une couronne de petits secteurs en bois, fixés seulement par un côté de leur base, et pouvant glisser librement les uns sur les autres, ce qui leur permet, sous l'influence de la pression intérieure, de venir s'appliquer exactement sur la surface du corps de pompe. Les *fig.* 12 à 17 de la Pl. VII représentent en plan et coupe la disposition de ces secteurs. Ces pistons, connus sous le nom de *Steckelkolben* ou pistons à secteurs, se comportent mieux dans les eaux acides que les pistons à garniture de cuir.

b. *Aérage.* — L'emploi de la ventilation mécanique n'a encore été introduit dans aucune mine du bassin. La facilité et la rapidité avec lesquelles on fonce les puits dans l'argile font que presque partout on se contente de l'aérage naturel, secondé quelquefois par des foyers. Il n'existe souvent qu'une différence de niveau de 10 à 20 mètres entre les deux puits d'entrée et de sortie de l'air. On emploie fréquemment, comme conduites d'air dans les travaux souterrains, de vieux tubes de sondage réparés et calfatés.

Ce mode d'aérage laisse en général beaucoup à désirer. Il règne dans les chantiers une chaleur insupportable et les ouvriers n'y peuvent guère travailler que complètement nus. Certains ingénieurs du bassin prétendent, il est vrai, que cette température élevée écarte les chances d'incendies. Une circulation d'air plus active favoriserait, disent-ils, l'échauffement du charbon et la sortie du mauvais air emmagasiné dans les vieux travaux. Cette théorie, reproduite souvent aussi à propos des mines de houille, paraîtra sans doute très contestable.

A la mine de l'Union, à Dux, d'ailleurs l'une des mieux organisées du bassin, on s'occupe avec plus de soin de la question de l'aérage. On y suit attentivement la marche

du baromètre et du thermomètre, et l'on y fait couramment, à l'anémomètre, des déterminations de vitesse, desquelles on déduit ensuite, par le calcul, le volume d'air qui circule dans chaque galerie.

e. *Éclairage.* — On emploie dans la plupart des exploitations la lampe à feu nu. Cependant le grisou se montre parfois, et dans un certain nombre de mines on a adopté l'usage de la lampe de sûreté. Quoi qu'il en soit, les accidents causés par ce gaz sont très rares, sinon à peu près inconnus.

Les lampes employées dans les travaux souterrains de la Société de Brüx ressemblent beaucoup à celles des mineurs de Saint-Étienne. L'huile est vendue aux ouvriers, et le prix en est retenu sur les feuilles de paye. Les ingénieurs et les surveillants emploient pour leurs tournées une lampe à pétrole, muni d'un réflecteur parabolique, très portative et très commode.

J'ai vu employer également, dans cette même mine, pour l'inspection du toit des chantiers arrivés à la dernière période du foudroyage, une lampe au magnésium, dont je crois devoir dire ici quelques mots. Un ruban mince de magnésium enroulé sur un tambour, se développe au fur et à mesure de la combustion, à l'aide d'un mécanisme d'horlogerie. Un réflecteur parabolique permet d'envoyer le faisceau lumineux sur les différentes parties du toit, situé souvent à 10 mètres de hauteur, et dont on peut ainsi reconnaître les points dangereux. Quand l'inspection est terminée, on presse un bouton; le mécanisme s'arrête, et la lampe s'éteint d'elle-même. Il serait désirable de voir l'usage de cette lampe se répandre dans les autres mines du bassin. Elle rendrait de grands services dans la plupart de ces chantiers de dépilage, où l'éboulement du toit est une menace sans cesse suspendue, comme une épée de Damoclès, sur la tête de l'ouvrier.

§ 5. — Essais de préparation ou de transformation du lignite.

La proportion d'eau considérable que renferment normalement les lignites au sortir de la mine (15 à 20 p. 100 pour ceux de la Bohême) a deux conséquences également fâcheuses. D'une part, elle diminue leur pouvoir calorifique; de l'autre, cette eau tend naturellement à se dégager des pores du charbon à l'état de vapeur, soit sous l'action du feu, soit simplement au contact prolongé de l'air, ce qui donne aux lignites une grande fragilité et détermine leur émiettement spontané sur la grille du foyer ou dans les stocks de dépôt.

Il résulte d'abord de cette influence fâcheuse de l'air l'obligation de restreindre ces stocks autant que possible. Mais, malgré toutes les précautions, on perd généralement, à l'état de menus à peu près sans usage, le dixième du lignite extrait (*). Ces menus sont jetés sur les haldes et encombrent inutilement de vastes espaces aux abords de tous les sièges d'exploitation.

L'émiettement pendant les longs transports ou les transbordements répétés, est également une source importante de déchets.

Si l'on parvenait à remédier d'une façon absolue à ces deux inconvénients, le lignite deviendrait un combustible à peu

(*) Un vingtième seulement de ces menus sont utilisés sur des grilles spéciales pour le chauffage des chaudières des machines d'extraction et d'épuisement.

Toutefois, depuis quelque temps, la Compagnie des chemins de fer de l'Est français réussit à brûler directement des menus de houille sur ses locomotives et cela avec un déchet à peine supérieur à celui des agglomérés employés antérieurement.

Cet heureux résultat est dû évidemment aux propriétés collantes de la houille, et il serait sans doute téméraire d'attendre le même succès avec des lignites qui, le plus souvent, renferment en outre une proportion d'eau considérable.

près de même valeur que la houille, et il en résulterait, pour l'avenir du bassin qui fait l'objet de cette étude, des avantages immenses.

Un grand nombre d'ingénieurs se sont occupés de cette question et ont multiplié les essais en vue d'arriver à débarrasser, au moins partiellement, les lignites de leur eau.

Ces essais ont porté tantôt sur le lignite gros, dans le but d'augmenter sa valeur industrielle; tantôt sur les menus eux-mêmes, en vue de leur trouver un emploi. Quoique ces tentatives n'aient abouti à aucun résultat définitif et concluant, je crois néanmoins utile d'en dire quelques mots ici, ne serait-ce que pour indiquer les difficultés que présente le problème.

A. — Préparation du lignite gros.

a. *Dessiccation.* — On a d'abord songé à la dessication pure et simple dans des fours à température lentement croissante. On espérait ainsi éviter l'éclatement des morceaux qu'eût infailliblement produit le dégagement brusque, à l'état de vapeur, de l'eau contenue dans le lignite.

Des essais de ce genre ont été faits avec les lignites de Köflach (Carinthie). Scize chambres de torréfaction avaient été disposées en deux séries adossées l'une à l'autre. On chargeait un peu plus d'un tonne de lignite brut par chambre; puis on faisait circuler dans l'appareil un courant de gaz chauds produits par un foyer spécial. Mais, bien que la hauteur de charge fût assez faible, il ne fallait pas moins de vingt-quatre heures pour arriver à un degré de dessiccation convenable. On ne pouvait produire avec cet appareil que 16 à 20 tonnes au plus de combustible sec par jour, chiffre tout à fait insignifiant. On avait, avec cela, 4 p. 100 d'incuits et un déchet considérable résultant de la réduction d'une partie de la charge en petits fragments. Le produit obtenu était en outre très fragile. Si l'on ajoute

à toutes ces pertes le menu lignite employé par le chauffage de la grille et la marche du ventilateur, on reconnaîtra combien ce procédé était peu satisfaisant.

Avec les lignites de Bohême, plus résistants et moins riches en eau que ceux de Carinthie, on eût peut-être obtenu des résultats un peu meilleurs; mais jamais il n'eût été possible de traiter économiquement, par une méthode aussi lente, la production d'un grand puits.

b. *Carbonisation*, — Les lignites du bassin de Saatz-Teplitz ne renferment pas en eux-mêmes assez de matières collantes pour donner un coke soudé et résistant. Le rapport de l'hydrogène à l'oxygène n'y est, en effet, que de 1/4 au plus, au lieu de 1/2, comme dans les houilles grasses. Aussi tous les essais de carbonisation n'ont-ils donné que des produits fragiles et sans consistance, impropres à la plupart des usages.

Il n'en est pas de même d'expériences assez curieuses qui ont été faites, en vue d'une dessiccation et d'une carbonisation partielles, par MM. Gœdsche et Teischl, au puits d'Allemagne, à Schallan, près Teplitz.

Ces expériences ont donné des résultats assez remarquables, pour que peut-être il soit permis d'y voir, pour l'avenir, la solution du problème qui nous occupe.

On avait trouvé à la base d'une halde de menus en feu, de petits fragments de lignite qui avaient pris complètement l'aspect de l'anthracite. Leur poids spécifique avait augmenté; la cassure, devenue brillante, contrastait avec l'aspect mat du lignite. Au feu de forge, ces fragments se comportaient absolument comme de l'anthracite.

L'explication la plus naturelle de cette transformation paraît être la suivante : la chaleur, en montant progressivement de la partie inférieure du tas vers le haut, aurait tout d'abord chassé l'eau hygroscopique, et cela avec assez de lenteur pour ne pas détruire la cohésion des mor-

ceaux. Ceux-ci, devenus poreux, auraient ensuite absorbé et condensé, à la manière de l'éponge de platine, les hydrocarbures distillés par les couches plus chaudes placées au-dessous. Cette absorption aurait encore été facilitée par l'état de pression dans lequel ces gaz étaient maintenus : la masse considérable de poussières et de menus très fins entassés au-dessus remplissant en effet les interstices, et empêchant l'échappement de ces gaz dans l'atmosphère. La chaleur, continuant à monter, aurait forcé ensuite les hydrocarbures ainsi condensés, et ceux préexistants, à se dégager à leur tour, en abandonnant, par le fait de leur décomposition partielle, un résidu de charbon.

L'élévation très lente de la température, jointe à la pression considérable exercée sur la base du tas par toute la partie supérieure, auraient empêché le charbon de s'effriter ou de se boursoufler, par le dégagement des matières volatiles, comme il arrive généralement quand on essaye d'en dessécher ou d'en carboniser une masse peu considérable.

Une analyse de ces fragments anthraciteux, faite dans le laboratoire de l'école professionnelle de Chemnitz (Saxe), a indiqué une teneur en eau de 5 p. 100 seulement, et a fait constater la disparition complète de la petite quantité de soufre que renferme habituellement le charbon cru. Le pouvoir calorifique absolu, calculé d'après les analyses, s'élevait à 6.200 calories, alors que celui du même lignite cru ne dépassait pas 3.800 calories; ce qui représentait par conséquent une augmentation de 60 p. 100. Le poids spécifique avait augmenté de 20 p. 100, et le charbon avait acquis une solidité qui lui permettait de supporter de longs transports.

C'étaient là des qualités précieuses qu'il était intéressant de chercher à reproduire dans des essais en grand. C'est dans ce but que MM. Gœdsche et Teischl ont imaginé le dispositif suivant.

Les bennes de charbon cru étaient déversées, à l'aide d'un culbuteur, au sommet d'un plan incliné, presque vertical, garni, sur une hauteur d'environ 30 mètres, d'un pavage en briques. Ce plan se raccordait à sa partie inférieure avec un four d'une dizaine de mètres de hauteur, dont la cuve était évasée vers le haut, en forme de trémie, de manière à maintenir la colonne de combustible adossée au plan.

L'intérieur de cette cuve renfermait une série de tubes verticaux en fonte, légèrement évasés et réunis par le haut. Ces tubes avaient 5 mètres de hauteur et une section horizontale elliptique de $0^m,40$ sur $0^m,25$. On les amenait au rouge, dans la partie moyenne, au moyen d'un foyer placé à cette hauteur. La partie inférieure était refroidie extérieurement à l'aide d'un jet de vapeur ou d'un courant d'eau froide.

Le charbon passait de la trémie dans ces tubes, où il était porté progressivement au rouge sombre, puis refroidi. En ouvrant un registre ménagé à la base de chaque tube, on faisait tomber le produit dans de petit wagonnets circulant sur des voies établies au-dessous. Le travail se réduisait à l'amenée du charbon au sommet du plan, à son enlèvement au bas des fours et à l'entretien du foyer.

Cette disposition reproduisait, comme on le voit, dans leurs traits essentiels, les conditions qui avaient dû présider à la formation des fragments anthraciteux trouvés dans les circonstances que j'ai indiquées plus haut.

Des expériences faites par MM. Gœdsche et Teischl sur des lignites provenant des divers bassins de la Bohême, il résulte que les charbons de Dux-Osseg sont ceux qui donnent les échantillons les plus denses et les plus résistants, tandis que d'autres sortes se prêtent moins bien à ce traitement.

L'installation d'un grand nombre d'appareils de ce genre serait surtout facile pour les mines situées dans le voisinage de

collines escarpées. Il suffirait d'aligner le long de la pente un nombre suffisant de ces fours. Une voie horizontale, courant à la partie supérieure et correspondant à un nombre égal de culbuteurs, amènerait le charbon cru; une autre voie, au pied de la colline, desservirait le bas des fours. Cette disposition offrirait l'avantage de comporter tel développement qu'il serait jugé nécessaire pour répondre à l'importance de la production et aux exigences de la consommation.

Mais, si intéressants et si pleins de promesses qu'aient été ces premiers essais, il serait téméraire de poser dès à présent une conclusion définitive. On ne sait encore, en effet, quelle pourrait être la production journalière de chaque appareil, ni quelle grosseur de fragments est la mieux appropriée au traitement. Jusqu'ici les morceaux obtenus ne dépassent pas la grosseur du poing, et l'on n'a encore aucune idée précise du temps qui est nécessaire à la transformation.

B. — Transformation des menus.

a. *Distillation.* — Il y a une vingtaine d'années, exploitants de mines et populations du voisinage ont espéré que la distillation des menus de lignite, pour paraffine et huiles légères, allait les affranchir de ces haldes incommodes qui, perpétuellement en combustion, vicient l'atmosphère en y déversant des torrents d'acide carbonique et d'oxyde de carbone. Mais c'était là un vain espoir ; car dès les premières années, dès 1860, la concurrence des pétroles d'Amérique vint porter un coup fatal à l'industrie naissante des distilleries. Depuis ce temps il n'en reste plus une seule en activité dans toute la Bohême. C'est qu'en effet l'huile brute résultant de la distillation des lignites ne fournit, à part le photogène, qui ne pouvait tenir devant le bas prix du pétrole, qu'un faible rendement en paraffine, produit de beaucoup plus

grande valeur au point de vue commercial. Cette industrie pourrait renaître si l'on venait à trouver le moyen d'augmenter ce rendement, mais c'est là un résultat fort problématique.

b. *Gazéification.* — Les perfectionnements nombreux et importants que l'on apporte chaque jour à la construction et au fonctionnement des gazogènes, permettent peut-être d'y voir pour l'avenir un important débouché pour les menus de lignite qui, vu leur bas prix, verraient ainsi leur emploi se généraliser rapidement. Mais jusqu'ici l'influence de ces perfectionnements s'est encore très peu fait sentir.

c. *Agglomération.* — Les essais dans ce sens, effectués avec les lignites de l'Allemagne du Nord, ont parfaitement réussi et fournissent des produits qui luttent avantageusement sur les marchés prussiens avec les lignites gros de Bohême. Au contraire les tentatives du même genre que l'on a faites à diverses reprises dans le bassin de Saatz-Teplitz, n'ont donné que des résultats peu satisfaisants.

L'agglomération s'exécute, comme on sait, avec ou sans matière liante ou ciment.

1° *Agglomération avec ciment.* — Le meilleur de tous les ciments est sans contredit le brai. Mais son prix est élevé. De plus les usines qui le produisent se trouvent généralement dans le voisinage des grandes villes et par suite à une assez grande distance des mines ; il s'ajoute par conséquent encore au prix d'achat, des frais de transport assez importants. D'autre part, pour obtenir des briquettes capables de supporter les manutentions et les transports, il est nécessaire d'employer, au minimum, de 5 à 8 p. 100 de brai. On arrive ainsi à une dépense de ciment tout à fait hors de proportion avec le prix que l'on peut espérer pour la vente de ces briquettes, prix qui ne peut, dans aucun cas, dépasser celui, déjà dérisoire, du lignite gros (5 francs

la tonne sur le carreau de la mine en juillet 1878). Il est hors de doute que, dans un bassin où l'on produit le charbon gros en quantités pour ainsi dire illimitées, une pareille industrie aurait de la peine à prospérer.

D'autres ciments ont été proposés : l'amidon, le sang, l'argile. Mais les deux premiers coûtent presque aussi cher que le brai, et, quant à l'argile, elle offrirait le grave inconvénient d'augmenter encore la proportion de cendres, déjà plus considérable dans les menus que dans le charbon gros de même provenance.

2° *Agglomération sans ciment.* — On a d'abord essayé d'employer à cette opération des menus bruts, pris tels qu'ils tombent des appareils de triage. Les produits obtenus étaient assez solides ; mais sous l'action du feu ils tombaient en fragments et obstruaient les grilles. Cet effet était évidemment dû à la forte proportion d'eau qu'ils renfermaient (20 p. 100 environ).

Il est donc indispensable de dessécher les menus aussi complètement que possible avant de les agglomérer. Des expériences à ce sujet ont démontré que, pour obtenir de bons produits, il faut ramener la teneur en eau à 5 ou 9 p. 100 au maximum. Lorsqu'on échauffe ensuite ces menus ainsi desséchés et qu'on les soumet à une forte pression, on réussit à obtenir, sans addition d'aucun ciment, des briquettes suffisamment résistantes.

Une société d'industriels saxons et bohémiens a créé, au découvert Herbert, près de Teplitz, une fabrique d'agglomérés établie sur ce principe. De nombreux essais ont mis en évidence l'excellente qualité de ses produits. Même au feu de forge, les briquettes ne brûlent que par leur surface extérieure et sans s'effriter.

Mais là encore on s'est à peine occupé jusqu'ici du point le plus délicat et le plus important de la question, à savoir le moyen de dessécher vite, économiquement, et à un de-

gré suffisant, une quantité de lignite un peu considérable. J'ai dit quelles difficultés le problème présente pour le lignite gros, et combien peu les essais faits dans ce sens ont réussi jusqu'à ce jour. Il est juste cependant d'ajouter que la question se simplifie beaucoup quand il s'agit de menus, puisqu'on n'a plus à craindre ici l'émiettement, comme dans le cas du gros.

Jusqu'ici on s'est contenté, pour dessécher les menus, de les faire séjourner dans des cylindres de tôle portés au rouge ou de les étendre au soleil pendant les beaux jours de l'été. Mais ce ne sont là que des moyens précaires, et on a mis à l'étude l'établissement d'un grand appareil de dessiccation.

Il semble qu'on pourrait arriver à une solution économique au moyen d'un système à production continue dans lequel, par exemple, le charbon parcourrait progressivement un espace chaud, soit verticalement et avec ou sans le secours de moyens mécaniques, soit horizontalement, au moyen d'une vis ou d'une toile métallique sans fin.

Résumé et conclusions. — En résumé, aucun des procédés indiqués ci-dessus ne constitue une solution satisfaisante de la question.

Les difficultés tiennent en partie aux propriétés physiques même du combustible, en partie à la nécessité, pour les frais de la préparation, de rester inférieurs à l'augmentation de valeur qui en résulte pour le combustible. Cette dernière condition est d'autant plus difficile à remplir que le lignite gros est partout produit et vendu à très bon compte. Les produits résultant, par exemple, de la préparation des menus actuellement sans valeur, ne peuvent en effet espérer qu'un prix de vente très peu supérieur à celui du charbon gros.

Il résulte de cette situation que la vente des lignites préparés est, la plupart du temps, impossible sur le lieu

même de production, les frais de la transformation étant généralement supérieurs à l'accroissement de valeur qui en résulte. Mais cette vente pourrait devenir possible et même avantageuse sur des marchés plus éloignés pour lesquels l'accroissement de solidité du produit, joint à la diminution des frais de transport résultant de la condensation des éléments utiles sous un poids plus petit, compenserait et au delà l'excès des frais de préparation sur l'augmentation de valeur du combustible brut. Je renvoie, pour plus de détails sur ce sujet, à la note spéciale annexée à la fin de ce mémoire (annexe n° 3).

Cette propriété assure, comme on le voit, les plus grandes chances d'avenir aux procédés de préparation qui, tout en accroissant le pouvoir calorifique du combustible, augmentent en même temps sa solidité et sa résistance, et par là le rendent capable de supporter de longs transports. A ce point de vue, et pour ce qui regarde l'amélioration du lignite gros, tous les efforts doivent être concentrés sur la transformation en lignite anthraciteux. Pour les menus, l'agglomération sans ciment peut seule présenter quelques chances de succès.

II

PARTIE ÉCONOMIQUE.

§ 1. — Question ouvrière.

Cette question puise une importance toute particulière dans ce fait qu'elle intéresse une population nombreuse, qui atteint déjà plus de 13.000 individus et qui s'accroît encore chaque année.

J'étudierai successivement le mode de travail et la répartition des salaires ; puis, dans un second paragraphe, les

institutions de prévoyance, très intéressantes dans ce bassin.

A. — SALAIRES.

Les ouvriers ne sont qu'exceptionnellement payés à la journée; le travail à la tâche ou à l'entreprise est partout la règle; toutefois le premier est de beaucoup le plus fréquent. Dans la plupart des exploitations, les salaires sont calculés, pour tous les ouvriers, d'après plusieurs éléments, combinés de manière à encourager le travail, tout en ménageant convenablement l'intérêt de l'exploitant. Dans quelques mines, on ajoute des primes quand le rendement dépasse un certain chiffre.

a. *Travail à la tâche.* — Les ouvriers sont payés proportionnellement à la production. Toutefois le salaire des piqueurs, en traçage ou en dépilage, est calculé tant d'après le nombre de bennes de charbon gros ou de tout-venant qu'ils ont livrées, que d'après le nombre de mètres d'avancement ou de mètres carrés de surface de havage qu'ils ont effectués. Leur salaire moyen, établi d'après ces bases, varie de 3f,25 à 3f,75 par poste, en traçage; mais il s'élève à 4 francs ou 4f,50 en dépilage, bien que, dans ce dernier cas, les prix unitaires soient moins élevés. Cela tient à ce que le rendement moyen par homme, qui dépasse rarement 3 tonnes de charbon par poste dans le travail d'avancement en galerie, atteint facilement 4t,5 dans le dépilage. Dans certaines mines, comme celle de Fortschritt par exemple, on alloue des primes supplémentaires aux piqueurs, quand leur rendement moyen dépasse un certain chiffre.

Le tableau ci-contre contient quelques exemples des prix unitaires adoptés dans un certain nombre de mines du bassin, pour l'établissement des salaires.

TABLEAU DES PRIX (*) UNITAIRES ADOPTÉS DANS QUELQUES MINES DU BASSIN POUR L'ÉTABLISSEMENT DES FEUILLES DE PAYE DES OUVRIERS.

DÉSIGNATION des mines	OUVRIERS DU FOND.												OUVRIERS DU JOUR.				
	PIQUEURS.										Receveurs. — Tarif par tonne de charbon.	Conducteurs des trains à chevaux. — Tarif par tonne de charbon.	Chargeurs des grands wagons. — Tarif par wagons de 10 tonnes.	Surveillants des estacades de chargement.		Maîtres mineurs.	
	TRAÇAGE (**).						DÉPILAGE (***).										
	Dimensions des galeries		Tarif par mètre d'avancement.	Tarif par tonne de gros. (****)	Tarif par tonne de tout-venant. (****)	Tarif par tonne de menus. (****)	Tarif par mètre carré de surface de havage.	Tarif par tonne de gros. (****)	Tarif par tonne de tout-venant. (****)	Tarif par butte d'étayage.				Tarif par 500 wagons (par mois).	Tarif par 1000 wagons (par mois).	Tarif par 500 wagons (par mois).	Tarif par 1000 wagons (par mois).
	largeur.	hauteur.															
	mèt.	mèt.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Union (Dux)																	
Étage inférieur.	2,00	2,00	3,0 à 5,0	1,25	0,542	»	»	»	»	»	»	»	1,37 à 1,50	125	150	150	175
Étage supérieur				0,625	0,375	»	(1) 1,25 à 1,50	(2) 1,04 0,54	(2) 0,50 0,375	»	(3) 0,054 à 0,104	(4) 0,094					
Banque anglo-autrichienne (Obergeorgenthal).	»	»	»	1,50	0,75	»	0,75	0,75	0,40	»	»	»	»	»	»	»	»
Chemin de fer de Dux-Bodenbach (Dux).																	
Puits Antonia.	2,50	2,50	7,50	0,83	0,42.	»	0,50	0,46	0,30	»	»	»	»	»	»	»	»
Puits Christiania.							0,75	0,46	0,375	»	»	»	»	»	»	»	»

Nelson-Colliery (Dux)	2,50	2,25	3,125	1,166	0,666	0,333	(5) 0,75 ou 1,00 (6)	0,833	(7) 0,335	»	»	»	»	»	»	»	»
Société minière de Brüx (Tschausch)	2,50	2,25	»	1,67	0,83	»	0,625 à 0,875	0,833	0,416	(8) 0,375	0,10 à 0,120	(9) 0,10	»	»	»	»	»
Fortschritt (Dux)	1,90	2,00	»	(10) 1,80	(10) 0,485	»	(11) 1,00	0,645 à 0,925 à 1,00 (12)	0,565 (11) 0,40 (12)	»	»	»	»	»	»	»	»
Domaine (Brüx)	2,50 ou 3,00	2,50	0,25 à 1,50	1,35	0,90	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Britannia (Mariaschein, près Teplitz)	»	»	»	»	»	»	»	0,96	0,385	»	»	»	»	»	»	»	»

(*) Les prix qui figurent dans ce tableau, et en général dans toute la partie économique, ont été transformés en monnaie française en prenant pour base la valeur nominale du florin : 2f,50. En réalité ils devraient être réduits de 12 à 24 p. 100 si l'on voulait tenir compte de la dépréciation du papier-monnaie avec lequel s'effectuent en Autriche tous les payements.

(**) Le rendement moyen dans le travail d'avancement en galeries est, comme j'ai déjà eu l'occasion de le dire, de 0m,50 à 0m,75 d'avancement et de 2 à 3 tonnes de charbon, par piqueur et par poste.

(***) Le dépilage comprend :
1° Le sous-cavage du massif sur 2m,25 de hauteur;
2° Un havage vertical de 5 à 6 mètres de hauteur sur 2 ou plusieurs faces du pilier;
3° L'enlèvement du charbon éboulé.
Le rendement moyen s'élève à 4t,5 environ, par piqueur et par poste.

(****) Ces prix comprennent l'abatage, le triage du gros à la main, le chargement et le roulage jusqu'au plan incliné le plus voisin.

(1) Pour le havage vertical seulement.

(2) Pour le sous-cavage seulement, ou l'abatage des piliers en biseau.

(3) Pour les receveurs des plans inclinés automoteurs.

(4) Pour une distance à parcourir de 420 mètres quand ils conduisent du sable ou de l'argile, le tarif est respectivement de 0f,15 ou de 0f,075 par benne d'un peu moins d'un mètre cube.

(5) Pour le sous-cavage.

(6) Pour le havage vertical. Pour les deux cheminées latérales et la petite galerie circulaire les piqueurs reçoivent 3 francs par mètre d'avancement.

(7) Porté à 0f,50 pour la grosse gaillette quand les piqueurs la séparent eux-mêmes dans la mine.

(8) Le piqueur doit aller lui-même chercher la butte au dépôt dans la mine et la mettre en place.

(9) Pour les receveurs des puits d'extraction au fond et au jour.

(10) Avec prime de 0f,025, 0f,05 ou 0f,075 par benne de 620 kilog. quand le rendement moyen par poste de piqueur, calculé d'après la production du mois, atteint respectivement 5, 6 ou 7 bennes.

(11) Quand les haveurs sont distincts des rouleurs.

(12) Avec prime de 0f,025, 0f,05 ou 0f,075 quand le rendement journalier atteint 8, 10 ou 12 bennes et plus.

b. *Travail à l'entreprise.* — Je citerai comme exemple l'enlèvement des déblais, au découvert de la mine de la Compagnie du chemin de fer de Dux-Bodendach. On paye aux chefs de groupes $0^{f},75$ à $0^{f},875$ par mètre cube de déblai. Le rendement de chaque ouvrier étant en moyenne d'un peu moins de 3 mètres cubes par poste, cela correspond à un salaire journalier de $2^{f},50$.

c. *Travail à la journée.* — On y recourt rarement. Voici, à titre d'exemple, le tarif que l'on applique, le cas échéant, à la mine du Domaine.

	fr.	
Piqueurs	3,50	par poste de 12 heures.
Apprentis piqueurs	2,50	
Boiseurs	3,00	
Rouleurs	2,75	
Maçons	2,50	
Receveurs	1,75	
Manœuvres	1,00 à 1,75	

Les outils sont fournis généralement par les compagnies et payés progressivement, au moyen de petites retenues effectuées sur les salaires. A la mine du Domaine, on retient en outre aux ouvriers $0^{f},05$ par poste pour l'aiguisage de leurs outils.

B. — Institutions de prévoyance.

Ces institutions sont particulièrement développées dans la partie est du bassin, et elles témoignent du zèle qu'apportent les exploitants à améliorer, au point de vue matériel et moral, la situation de leurs ouvriers.

J'ai déjà montré, dans le paragraphe précédent, combien on se préoccupe en général d'encourager le travail en substituant, partout où cela est possible, le travail à la tâche ou à l'entreprise, au travail à la journée.

Mais la plupart des compagnies ne s'en tiennent pas là.

Ainsi, pour ne citer que quelques exemples, la mine de la Société de Brüx offre à ses ouvriers des logements à des prix extrêmement modérés. Moyennant 3f,75 à 7f,50 par mois, un ménage peut disposer d'un vestibule, d'une cuisine et d'une chambre à coucher. Les célibataires vivent de six à huit dans une même chambre et payent chacun 1f,25 à 2f,50 par mois. Ils ont, en outre, la faculté de profiter des salles-dortoirs, qui sont mises à leur disposition par la compagnie.

La mine Fortschritt possède trois casernes ouvrières (*Coloniehäuser*), contenant chacune douze logements d'une famille. Chacun de ces logements se compose d'une cuisine, d'une chambre de travail et d'une chambre à coucher, et se loue au prix de 10f,40 par mois.

La mine de l'Union assure ses ouvriers près d'une compagnie de Magdebourg, laquelle, en cas d'accident, paye 500 francs à la famille de chaque victime.

Enfin il existe dans tout le bassin des sociétés de secours mutuels (*Bruderlade*), dont les statuts sont soumis à l'approbation de l'Administration, conformément à la loi autrichienne des mines de 1854.

Ces statuts, dont il ne sera peut-être pas sans intérêt de donner ici un aperçu, règlent à la fois le montant de la cotisation des différentes catégories de membres, et leurs droits aux diverses natures de secours.

La Société de secours mutuels de l'arrondissement minéralogique de Brüx, par exemple, comprend à la fois des ouvriers et des surveillants. Les candidats doivent, pour être admis en qualité de membres de la Bruderlade, être âgés de plus de dix-huit ans et jouir d'une bonne constitution physique.

Ils restent pendant deux ans sociétaires de deuxième classe (*Minderberechtigte*), et payent pendant ce temps une cotisation mensuelle de 1f,50; après quoi ils passent de droit sociétaires de première classe (*Meistberechtigte*) et versent

par mois 1 florin [2f,50 (*)]. Ces cotisations sont retenues sur les feuilles de paye et remises chaque mois par les compagnies exploitantes à la caisse de la Société.

A cette source principale de revenus viennent s'en ajouter quelques autres moins importantes. Je citerai, par exemple, les amendes de toutes sortes; puis les droits d'entrée dans chaque classe, réglés d'après le tarif suivant :

	2e CLASSE.	1re CLASSE.
	fr.	fr.
Ouvrier célibataire	0,87	1,50
Ouvrier marié.	1,25	2,50

Pour les surveillants (*Aufseher*), ce droit est fixé à 1 ou 5 florins, selon qu'ils appartiennent à une exploitation modeste ou à une grande compagnie.

En outre, les sociétaires qui se marient doivent acquitter certains droits : ceux de deuxième classe payent 1 florin; ceux de première classe, 2 florins, s'il s'agit d'un premier mariage, et 3 florins dans le cas contraire. Ces taxes, qui pourraient sembler immorales au premier abord, sont en réalité motivées par le surcroît de charges qui résultent, pour la Société, du fait de l'entrée en ménage d'un de ses membres. D'ailleurs elles sont presque insignifiantes.

La Société est subventionnée d'autre part par les compagnies exploitantes. Les subventions consistent : 1° en un don initial à la masse de fondation, calculé à raison de 3 florins par *Grubenmasse* (rectangle de 4h,05) de la concession; 2° en une somme mensuelle égale au quart du montant total des cotisations des ouvriers.

Il me reste maintenant à parler de l'emploi des ressources ainsi réunies.

Les sociétaires de deuxième classe ont droit : à la visite gratuite du médecin pour eux, leur femme et leurs en-

(*) Ou plutôt de 1f,90 à 2f,20, par suite de la dépréciation du florin papier.

fants au-dessous de quatorze ans; aux médicaments gratuits, mais pour eux seulement; à un secours journalier de 1 franc en cas de maladie; à une pension viagère en cas d'infirmités contractées pendant le travail; au payement d'une partie des frais des funérailles et à une pension pour leur veuve et leurs enfants, en cas d'accident suivi de mort. Le montant de ces pensions est réglé d'après un tableau spécial annexé aux statuts.

Les sociétaires de première classe ont droit en outre : aux médicaments gratuits pour toute leur famille; à un secours journalier de 1f,50 en cas de maladie; au payement de la totalité des frais des funérailles, en cas d'accident suivi de mort; enfin, à des avances d'argent en cas de besoin justifié.

Je ne saurais terminer cet article sans dire un mot de l'école de maîtres-mineurs, qui a été établie à Dux, il y a quelques années, à peu près sur le modèle de nos écoles d'Alais et de Douai. Elle est destinée spécialement à former des surveillants, des machinistes, des maîtres-mineurs, etc., pour les exploitations du bassin. La durée des cours est de deux années. L'enseignement porte principalement sur l'exploitation des lignites, avec les conditions spéciales que ces derniers affectent en Bohême. Les examinateurs semestriels sont désignés par l'Administration parmi les ingénieurs, directeurs, ou propriétaires de mines du bassin. Cette institution est certainement appelée à rendre dans l'avenir de grands services et à donner un puissant essor à l'exploitation des richesses combustibles du nord de la Bohême.

§ 2. — Conditions financières de l'exploitation. — Marché commercial.

A. — Prix de revient.

Le prix de revient est un élément difficile à déterminer

d'une manière générale. Il varie en effet d'un point à 'autre du bassin et même d'une mine à l'autre, avec la profondeur et la puissance de la couche, la solidité du charbon, l'abondance des eaux, etc. Ainsi, par exemple, tandis qu'en 1878 il oscillait dans la région de Brüx autour de 2f,50, il atteignait 3f,65 dans les environs de Karbitz.

D'autre part le tableau des salaires des piqueurs, que j'ai donné précédemment, montre que le prix de la main d'œuvre est notablement plus élevé en traçage qu'en dépilage. Il s'ensuit que, dans une même mine, le prix de revient varie aussi avec le temps, suivant les proportions respectives dans lesquelles le traçage et le dépilage contribuent à la production totale. Il est clair, par exemple, qu'au début d'une exploitation, le traçage ayant le rôle prépondérant, le prix de revient sera assez élevé, mais qu'il devra ensuite s'abaisser régulièrement à mesure que le dépilage prendra plus d'importance. C'est ce que montre le tableau suivant (*) des valeurs successives qu'a affectées le prix de revient moyen d'une tonne de lignite à la mine de la Société de Brüx, de 1875 à 1878.

ANNÉES.	Prix de revient moyen d'une tonne de charbon.
—	—
	fr.
1875	3,375
1876	3,14
1877	2,625
1878	2,50

En 1873, le dépilage à la mine de la Société de Brüx n'entrait que pour 66 p. 100 environ dans la production totale, tandis qu'en 1878 il en fournissait les 80 centièmes.

Il serait également impossible de délimiter d'une façon absolue la part respective de chacun des éléments qui com-

(*) Extrait de l'*Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. Hüttenwesen*, année 1879.

posent le prix de revient. Néanmoins, d'après les renseignements que j'ai pu me procurer sur ce sujet, on peut admettre que, dans la région de Karbitz, par exemple, et pour une mine en pleine période de dépilage, outillée et organisée comme je l'ai exposé à l'article des méthodes d'exploitation, le prix de revient se décompose comme l'indique le tableau ci-après. J'ai fait figurer en regard, à titre de comparaison, les chiffres relatifs à la mine de la Société de Brüx en 1873, cités par M. Fuchs dans sa notice.

Analyse du prix de revient d'une tonne de lignite dans les sous-bassins de Bilin et de Saatz.

ÉLÉMENTS généraux du prix de revient.	DÉTAIL.	RÉGION de Karbitz-Teplitz. 1880 — Prix partiels.	Totaux par catégories.	Proportion par 100 du prix total.	RÉGION de Brüx. 1873	OBSERVATIONS.
		francs	francs	francs	(1) francs	
Main-d'œuvre directe.	Abatage du charbon, triage du gros et roulage jusqu'au plan incliné.	1,050	1,675	45,5	1,33	(1) Non compris les manipulations au jour.
	Roulage, du plan incliné à la recette inférieure du puits.	1,450				
	Accrochage au fond et réception au jour	0,075				
	Triage mécanique, au jour, des 50 p. 100 de charbon tout venant	0,100				
Main-d'œuvre indirecte.	Boisage des chantiers de dépilage; enlèvement des étais; pose, entretien et enlèvement des voies volantes.	0,200	0,325	8,83	(3) 0,80	(2) Les bois équarris se payent de $18^{f},50$ à $26^{f},50$ le mètre cube pour des équarrissages de $0^{m},20$ à $0^{m},30$ de côté. Les planches atteignent $47^{f},50$ le mètre cube. (3) Y compris les manipulations au jour.
	Confection des serrages et muraillements.	0,125				
Matières premières.	Bois (2) (étais, traverses pour les voies, planches, piquets, etc.)	0,125	0,350	9,5		
	Fer (rails, câbles, chaînes, clous, fonte, etc.).	0,125				
	Briques et chaux.	0,100				
Machinerie.	Extraction, entretien des câbles et de la machine . . .	0,075	0,225	6,15		
	Épuisement, entretien des pompes et de la machine. .	0,150				
Frais généraux	Indemnités pour dégâts de la surface (4).	0,125	1,100	30,0	(5) 0,35	(4) Les terrains se payent généralement de 5.000 à 8.300 francs l'hectare. (5) Non compris les frais d'administration centrale.
	Frais d'administration, de direction et de surveillance.	0,375				
	Impôts, intérêt et amortissement du capital de premier établissement, intérêt du fond de roulement, dépenses diverses.	0,600	. . . . .	. . . . .	(6) 0,15	(6) Frais de commission pour la vente.
	Total général. . . .	. . . . .	3,675	100,0	2,633	

B. — Prix de vente.

Le prix de vente moyen n'a, lui non plus, rien de général ni de stable. Il varie d'un bassin à l'autre et, dans un même bassin, d'une région à la voisine. Il varie également suivant les conditions politiques ou commerciales, ou suivant les fluctuations de la concurrence des houilles de Kladno, de Silésie ou d'Angleterre. Enfin, sur le carreau même de la mine, il est différent, selon qu'il s'applique à la consommation locale ou aux marchés éloignés.

Les colonnes 8 et 9 du tableau chronologique, annexe n° 1, représentées graphiquement par le diagramme n° 2 de la Pl. IX en fournissent une preuve suffisante. Mais je reviendrai plus loin sur ce sujet. Je ne veux ici qu'indiquer comment s'établit ce prix moyen de vente pour une mine donnée et quelle est sa valeur actuelle dans les divers bassins.

J'ai exposé précédemment comment le triage classe les produits de l'extraction en six catégories de dimensions décroissantes, depuis le charbon en fragments de la grosseur de la tête, jusqu'aux menus presque à l'état de poussières. Les prix de vente de chacune de ces catégories sont extrêmement différents.

Les menus, dont un vingtième à peine est utilisé pour le chauffage des chaudières des machines d'extraction et d'épuisement, sont à peu près sans valeur; le charbon gros, au contraire, atteint un prix assez élevé, mais qui souvent n'est que nominal par suite de la demande croissante de charbons moyens moins chers.

Le prix de vente moyen s'obtient naturellement en multipliant le prix de chaque sorte par la proportion pour laquelle celle-ci figure dans la production totale. Il suit de là que le prix de vente moyen est, comme le prix de revient, lié intimement aux conditions naturelles du

gisement et à la méthode de dépilage, puisque ces circonstances ont une influence capitale sur les proportions de charbon gros et de menus fournis par l'exploitation.

Faute de renseignements plus complets, je me resteindrai, dans le tableau suivant, à deux exemples pris, l'un dans la région de Brüx, où les prix de vente, comme d'ailleurs aussi le prix de revient, sont beaucoup plus faibles que dans toute autre partie du bassin ; l'autre dans les environs de Karbitz, où ces mêmes prix sont intermédiaires entre ceux de Brüx et ceux du bassin d'Elbogen. A côté des prix et des proportions des diverses sortes, j'ai rappelé, pour plus de précision, les dimensions linéaires déjà indiquées à l'article relatif au triage.

Tableau des prix de vente des diverses catégories de lignite dans deux régions du bassin de Saatz-Teplitz, en 1878 et 1879.

DÉSIGNATION des catégories.	ENVIRONS DE KARBITZ-TEPLITZ.				ENVIRONS DE BRÜX.			
	Dimensions linéaires des fragments.	Proportion p. 100 de la production totale.	Prix de vente par tonne en 1879.	Calcul du prix de vente moyen.	Dimensions linéaires des fragments.	Proportion p. 100 de la production totale.	Prix de vente par tonne en 1878.	Calcul du prix de vente moyen.
			fr	fr.			fr.	fr.
Charbon gros (*Stückkohle*)	au-dessus de 0m,160	50	5,75	2,875	au-dessus de 0m,200	40	5,00	2,00
Grosse Gaillette (*Mittelkohle I*) .	de 0 ,045 à 0 ,160	25	4,50	1,125	de 0 ,052 à 0 ,200	15	3,25	0,488
Petite Gaillette (*Mittelkohle II*)	de 0 ,035 à 0 ,045	10	3,50	0,350	de 0 ,033 à 0 ,052	10	2,00	0,200
Grosse Dragée (*Nusskohle I*). . .	de 0 ,015 à 0 ,035	5	1,25	0,063	de 0 ,016 à 0 ,033	10	1,25	0,125
Petite Dragée (*Nusskohle II*) . .	de 0 ,007 à 0 ,015	4	0,75	0,030	de 0 ,010 à 0 ,016	10	0,50	0,050
Menus ou poussières (*Staubkohle*).	au-dessous de 0m,007	6	mémoire	mémoire	au-dessous de 0m,010	15	mémoire	mémoire
Prix de vente moyens. .	. . . .	100	. . .	4.443	. . . .	100	. . .	2,863

Le prix moyen de vente, calculé pour tout le bassin de Saatz-Teplitz, n'a été que de 2f,85 par tonne pour l'année 1879. A la même époque, il était de 5f,32 pour le bassin

d'Elbogen; ce qui représente une plus value de 87 p. 100 attribuable à l'extraction des lignites gras dans ce dernier bassin (*).

C. — BÉNÉFICES.

Le bénéfice net d'une exploitation résulte tout naturellement de la différence entre les deux prix précédents, multipliée par le chiffre de la production.

Nul ou même négatif pendant la période des travaux préparatoires, ce bénéfice est encore extrêmement modeste pendant la période de dépilage. C'est ce qui ressort par exemple du tableau suivant, qui donne, pour la mine de la Société de Brüx, actuellement une des plus florissantes du bassin, le prix de revient et le prix de vente moyen, en même temps que le chiffre de la production de 1875 à 1879.

Situation commerciale de la mine de la Société de Brüx à Tschauch, de 1875 à 1879 (*).

ANNÉES.	EXTRACTION totale en tonnes.	PRIX de revient par tonne.	PRIX de vente moyen par tonne.	PERTE par tonne.	BÉNÉFICE par tonne.
		francs	francs	francs	franc
1875	127.974	3,38	3,315	0,065	»
1876	169.629	3,15	3,18	»	0,03
1877	173.628	2,63	2,83	»	0,20
1878	220.987	2,50	2,98	»	0,48
1879	312.901	?	?	?	?

(*) Extrait de l'*Œsterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen*, année 1879.

On doit considérer que le prix de revient a atteint, ou du moins était près d'atteindre son minimum en 1878, tandis que le prix de vente a continué à baisser en 1879, dimi-

(*) Ces lignites représentaient, en 1876, 56 p. 100 de la production totale du bassin de Falkenau.

nuant d'autant le bénéfice par unité de production. Ce bénéfice est en somme partout extrêmement faible, et, dans nombre de mines moins favorablement situées, l'exploitation en est rendue sinon impossible, du moins fort difficile.

Ce n'est que par une stricte économie, en même temps que par un développement mesuré et progressif de la production, que la plupart des mines que j'ai décrites dans la première partie de ce mémoire, sont parvenues à se créer et à se maintenir une situation relativement prospère.

D'autre part, la capacité de production presque indéfinie du bassin ne permet guère d'espérer un relèvement du prix de vente. Toute amélioration dans ce sens serait uniquement employée à étendre les limites du marché, en permettant aux lignites de se grever de transports plus coûteux.

Il faut ajouter à cela que les impôts sur les produits des mines sont notablement plus élevés en Autriche que dans beaucoup d'autres pays.

D. — Marché commercial.

Les emplois auxquels se prête le lignite de Bohême sont malheureusement assez restreints. A cette heure encore, c'est plutôt un combustible de luxe, destiné au chauffage des appartements, qu'un véritable combustible industriel; ce n'est qu'à ce titre qu'il peut supporter les transports coûteux qui l'amènent actuellement jusqu'aux limites de l'empire germanique, et même jusqu'à Rome en Italie. Cette situation toutefois est appelée à se modifier, le jour où les essais de préparation réussiront à donner des produits utilisables par l'industrie métallurgique.

Les boulangers de l'île de Rügen font cependant un usage courant de ces lignites pour la cuisson de leur pain. On en consomme également des quantités considérables dans les fabriques de chaux, de briques et de tuiles de l'Allemagne du Nord et dans les nombreuses sucreries du

centre de la Bohême. On les emploie aussi au chauffage des chaudières fixes, et même, dans certaines usines, on s'en sert au lieu de bois pour le chauffage des convertisseurs Bessemer. Enfin les lignites gras du bassin de Falkenau sont employés à la fabrication du gaz d'éclairage.

Les lignites de Bohême sont concurrencés à Prague et sur une partie du marché bohémien par les houilles du bassin limitrophe de Schlan-Kladno; à Vienne et en Prusse par les houilles de Silésie; en Saxe et à Hambourg par celles de Westphalie, et enfin par les houilles anglaises sur les côtes de la Baltique et de la mer du Nord.

§ 3. — Statistique rétrospective. — Mouvement commercial du bassin.

J'ai condensé dans ce paragraphe l'histoire de tous les faits économiques relatifs aux lignites de Bohême. Cette histoire est en effet intimement liée à celle du développement même du bassin; elle donne la clef de la situation commerciale et de la prospérité actuelles, en même temps qu'elle explique l'énorme étendue qu'a prise le marché de ces combustibles.

Je passerai successivement en revue les faits qui intéressent la production, la circulation et la consommation des lignites, fournis seulement par la partie du bassin située à l'ouest de l'Elbe. Les gisements de la rive droite de ce fleuve, malgré le grand intérêt qu'ils présentent au point de vue géologique, ne donnent lieu en effet qu'à des exploitations peu importantes, en dehors de celles de Salesl et Binnove qui fournissent un charbon très estimé; leur production totale n'atteint pas d'ailleurs 50.000 tonnes, et ils ne modifieraient pas sensiblement les chiffres ci-après.

A. — Production.

a. *Chiffre de l'extraction.* — J'ai fait en quelques mots, au début même de ce mémoire, l'historique rapide de la création et du développement de l'industrie des lignites en Bohême. Je n'y reviendrai pas ici, et je me contenterai d'indiquer la progression suivie par la production des deux parties du bassin. Elle est retracée par les colonnes 2 et 3 du tableau annexe n° 1, consigné à la fin de ce travail; la *fig.* 1 de la Pl. VIII en donne en outre une traduction graphique.

La production du bassin de Saatz-Teplitz a suivi une marche régulièrement et rapidement croissante. Voici à peu près le tableau des périodes successives de doublement (*) depuis 1860.

(*) Un grand nombre de phénomènes naturels et économiques se développent suivant la loi exponentielle : $y = a^{t+\alpha}$, dans laquelle t désigne le temps. On les reconnaît à ce caractère que la période de doublement est constante.

Dans ce cas, la constante a est déterminée par la relation :

$$a^{\tau} = 2,$$

dans laquelle τ désigne la période de doublement. On en tire :

$$\log a = \frac{\log 2}{\tau}.$$

Connaissant la valeur de y pour deux époques différentes t et t', il est facile d'en déduire la période de doublement correspondante On a en effet :

$$\frac{y'}{y} = a^{t'-t}.$$

D'où

$$(t'-t) \log a = \log \frac{y'}{y},$$

ou :

$$(t-t') \frac{\log 2}{\tau} = \log \frac{y'}{y},$$

PRODUCTIONS successivement doublées.	ANNÉES correspondantes.	Intervalles ou périodes de doublement.
500.000 tonnes.	1860	. . . . 7 ans.
1.000.000 —	1867	. . . . 4 —
2.000.000 —	1871	
4.000.000 —	1875	. . . . 4 —

En 1879, la production a atteint 5.109.000 tonnes, ce qui correspond à une dernière période de doublement égale à onze années (*). Une pareille rapidité de développement n'a encore été atteinte, à ma connaissance, d'une façon aussi soutenue, par aucun bassin producteur de combustibles minéraux.

La production du bassin d'Elbogen a suivi une marche moins rapide, surtout depuis 1874.

---

ou enfin

$$\tau = (t' - t)\,\frac{\log 2}{\log \frac{y'}{y}}. \qquad (1)$$

C'est cette dernière formule que j'ai employée pour le calcul de la plupart des périodes de doublement, indiquées au cours de ce chapitre.

(*) Il peut être intéressant de comparer ces chiffres aux valeurs suivantes des périodes de doublement de l'extraction, de 1860 à 1873, dans quelques-uns des principaux pays producteurs de combustibles minéraux :

DÉSIGNATION des pays.	PRODUCTION annuelle moyenne de 1873 à 1877.	PÉRIODES de doublement calculées pour la période de 1860 à 1873.	OBSERVATION.
Autriche	12 millions de tonnes	8 ans	De 1873 à 1878, la production dans chacun des pays ci-contre est restée à peu près constante.
Belgique	15 — —	19 —	
France	17 — —	11 —	
Allemagne	48 — —	7 —	
États-Unis	50 — —	7 —	
Angleterre	134 — —	21 —	

PRODUCTIONS successivement doublées.	ANNÉES correspondantes.	Intervalles ou périodes de doublement.
100.000 tonnes.	1860	
		7 ans.
200.000 —	1867	
		5 —
400.000 —	1872	

En 1874, la production atteignait 600.000 tonnes, ce qui correspondait à une nouvelle période de doublement d'environ trois ans et demi. Mais ces belles espérances ne se sont pas maintenues, et, depuis, la production de ce bassin est restée à peu près stationnaire; elle a semblé cependant vouloir se relever un peu dans ces dernières années. De 1860 à 1874, elle a varié entre le 1/5 et le 1/6 de la production du bassin de Saatz-Teplitz; mais actuellement elle n'en est plus que le 1/9.

En 1876, les lignites gras représentaient 56 p. 100 de la production totale du bassin d'Elbogen.

L'ensemble des deux bassins présente, pour le chiffre total de la production, les mêmes périodes de doublement que le bassin de Saatz-Teplitz, à cette différence près toutefois que, par le fait de la stagnation du bassin d'Elbogen, la dernière période se trouve portée de onze ans à douze ans et demi.

Ainsi, de 1867 à 1875, la production totale s'est accrue chaque année de près de 20 p. 100 (*). Il est juste d'ajouter que cette vitesse s'est notablement ralentie dans la période suivante, où l'accroissement annuel n'a plus été que de 6 p. 100 environ (**).

Ce ralentissement tient, d'une part, à la crise générale qui pèse sur toutes les industries depuis 1873, et peut-être aussi, de l'autre, au relèvement brusque des tarifs de transport par chemins de fer qui, comme nous le verrons plus loin, a eu lieu à partir de 1874.

(*) Rigoureusement, 18,80 p. 100.
(**) Rigoureusement, 5,80 p. 180.

On peut remarquer, à l'inspection des courbes, le temps d'arrêt amené dans le chiffre de la production par la guerre de 1866. Celle de 1870 paraît, au contraire, n'avoir eu aucune influence, au moins sur le chiffre de l'extraction.

Le développement de la production n'a pas, comme on le voit, suivi une progression géométrique régulière, comme il arrive quelquefois pour les faits économiques de cet ordre; on doit reconnaître néanmoins qu'il a été extrêmement rapide, au moins pendant la période de 1867 à 1875.

Le tableau suivant indique comment se répartissait, en 1879, la production totale de 5.700.000 tonnes, entre les deux bassins d'Elbogen et de Saatz-Teplitz, et les cinq circonscriptions minéralogiques qu'ils comprennent. Ce tableau fait connaître en même temps le nombre des exploitations qui étaient en activité dans chaque bassin, ainsi que les quantités respectives de lignites qui ont été consommées en Autriche et exportées à l'étranger.

Tableau de la production, de la consommation locale et de l'exportation des lignites du nord-ouest de la Bohême, en 1879.

CIRCONSCRIPTIONS minéralogiques.	EXPLOITATIONS en activité.	PRODUCTION.	CONSOMMATION en Autriche.	PROPORTION p. 100.	EXPORTATION.	PROPORTION p. 100.
Bassin d'Elbogen.		tonnes	tonnes		tonnes	
Falkenau	30	340.500	160.410	47,1	180.090	52,9
Elbogen	30	251.792	178.974	71,1	72.818	28,9
Totaux	60	592.292	339.384	57,5	252.908	42,5
Bassin de Saatz-Teplitz.						
Komotau	57	235.056	193.886	82,5	41.170	17,5
Brüx	68	2.624.440	1.398.413	53,3	1.226.027	46,7
Teplitz	66	2.249.867	991.841	44,0	1.258.026	56,0
Totaux	191	5.109,363	2.584.140	50,5	2.525.223	49,5
Total général	251	5.701.655	2.923,524	51,3	2.778.131	48,7

Sur ces 251 exploitations, 48 ont produit chacune plus de 100.000 tonnes, et 16 autres de 13.000 à 100.000 tonnes.

Les grandes exploitations souterraines, établies en vue d'un long avenir, tendent de plus en plus à prendre le pas sur les travaux peu profonds ou à ciel ouvert, et c'est dans la nature des choses. Si, en effet, les installations peu importantes, les découverts en particulier, peuvent facilement être déplacés, quand les circonstances l'exigent, ce qui est presque impossible avec les travaux profonds et largement aménagés, ces derniers offrent en revanche des avantages précieux : ils sont moins sujets à être envahis par les eaux à la suite des fortes pluies ; ils dégradent moins la surface ; enfin ils fournissent des charbons plus résistants et une plus forte proportion de gros. Ces raisons justifient d'une manière suffisante la faveur croissante

dont jouissent depuis quelques années les entreprises à grands capitaux (*).

De 1860 à 1879, l'extraction totale de lignite des gisements du nord de la Bohême a atteint le chiffre relativement considérable de 50 millions de tonnes.

Pour donner une idée de l'importance de la production des lignites en Autriche, relativement à celle des autres combustibles minéraux, il me suffira de dire qu'en 1877 elle représentait les 3/5 de la production totale, évaluée à 12 millions de tonnes (**), soit 7 millions de tonnes.

Sur ce dernier chiffre, 5 millions de tonnes provenaient du nord-ouest de la Bohême, soit 70 p. 100 (***). En 1879, ce même rapport s'est élevé à 73 p. 100.

Pour ce qui regarde la Bohême seule, les lignites, fournis pour les 99 centièmes par le bassin du Nord-Ouest et pour le reste par les deux petits bassins sans importance de Weigsdorf à l'est de l'Elbe et de Budweis au sud de Prague, représentaient en 1877 les 3/5 de la production totale de cette province en combustibles minéraux (****).

(*) Les principales compagnies d'exploitation sont d'origine anglaise, autrichienne ou belge. C'est surtout à partir de 1870-1872 qu'elles se sont établies en grand nombre dans le bassin.

(**) Cette production totale de 12.012.000 tonnes se décomposait comme suit :

	Tonnes.	Proportion p. 100.
Houille	4.886.000	40,75
Lignite	7.126.000	59,25
Total	12.012.000	100,00

(***) Voici le tableau indiquant la part respective des principaux bassins à lignite de l'Autriche dans la production totale de ce combustible en 1877 :

Bohême	70,32	p. 100.
Styrie	20,32	—
Haute-Autriche	3,96	—
Carniole, Moravie, Carinthie, etc.	5,40	—
Total	100,00	—

(****) Voici les chiffres exacts :

b. *Valeur totale du lignite extrait.* (Voir annexe n° 1, colonnes 5, 6 et 7 du tableau chronologique, ainsi que le diagramme représentatif Pl. VIII, *fig.* 2.) —La valeur totale du charbon extrait a suivi une marche plus capricieuse que la production. De 2.271.000 francs en 1860, elle s'est élevée rapidement à 19.277.000 francs en 1874; ce qui correspond à une période de doublement de quatre ans et demi, à peu près égale à celle de la production. La guerre de 1866 a toutefois provoqué une baisse brusque bien marquée dans le diagramme.

Depuis 1874, la valeur totale n'a cessé de décroître, quoique très lentement. En 1879, elle n'était plus que de 17.500.000 francs, représentant à peu près la moitié (*) de la valeur totale de la production des lignites en Bohême. Cette diminution de valeur se rattache à la grande crise industrielle qui a pris naissance à cette époque et se poursuit encore actuellement.

Production des combustibles minéraux en Bohême en 1877.

LIGNITES.	Tonnes.	HOUILLES.	Tonnes.
Nord-ouest de la Bohême . . .	4.963.450	Kladno-Rakonitz-Schlan . . .	1.372.853
Weigsdorf-Grottau (région est de l'Elbe)	42.343	Pilsen.	1.150.821
Budweis.	5.400	Schatzlar-Schwadowitz	209.481
		Brandau-Stiletsch	3.190
Total.	5.011.194	Total.	2,736,354
		Lignites. . .	5,011.194
		Total général.	7.747.540

Soit 62 p. 100 de la production totale de l'Autriche en combustibles minéraux.

La production des deux bassins de Weigsdorf-Grottau et de Budweis est entièrement absorbée par la consommation locale.

Le bassin de Schlan-Kladno, dont la houille vient concurrencer les lignites du N.-O. sur le marché de Prague, exploite, à une profondeur moyenne de 280 à 300 mètres, une couche de 6 à 12 mètres de puissance, d'une houille demi-grasse, dont j'ai cité la composition à l'article relatif à la nature du lignite. Cette houille est entièrement consommée en Bohême, ainsi que celle des deux autres bassins de Schatzlar-Schwadowitz et de Brandau-Stiletsch. Le bassin de Pilsen livre seul un tiers de sa production à l'étranger.

(*) Exactement 49 p. 100.

Ces faits sont d'ailleurs communs aux deux bassins, et la seule chose qu'il faille remarquer, c'est que la valeur totale des lignites d'Elbogen est constamment restée à peu près égale au quart de la valeur totale correspondant à la production du bassin de Saatz-Teplitz. Ce fait doit être attribué au développement croissant de la production du lignite gras dans le sous-bassin de Falkenau. Ce lignite représentait en effet, en 1876, 56 p. 100 de la production totale du bassin de l'Ouest.

Pour avoir une idée complète des richesses créées par l'exploitation des lignites en Bohême, il faudrait ajouter, aux 200 millions de francs qui représentent le total de la production de 1860 à 1879, les sommes encaissées par les compagnies de transport, qui représentent souvent 2 à 3 fois la valeur même du combustible pris sur le carreau de la mine.

e. *Prix moyen de vente sur place.* (Voir annexe nº 1 colonnes 8, 9 et 10 du tableau chronologique, ainsi que le diagramme représentatif, Pl. IX, *fig.* 2.)

Le prix moyen de vente sur place est notablement différent dans les deux parties du bassin, et suit avec le temps une marche des plus capricieuses dont la raison serait peut-être difficile à définir.

Au siècle dernier la valeur du lignite était presque nulle, ou du moins tellement faible qu'aucun exploitant ne s'astreignait à tenir des registres réguliers de production et de vente. Aussi les renseignements manquent-ils presque totalement à ce sujet. Dans la première partie du siècle actuel, le lignite commença à être mieux apprécié, et vers 1830 les exploitants commençaient déjà à trouver quelques acheteurs. En 1857, le gros seul était vendable; la gaillette, les dragées et *à fortiori* les menus étaient jetés sur les haldes. Le lignite gros valait alors 5 francs la tonne. En 1870, il atteignait le prix exceptionnel de 12f,50;

en 1873, il se vendait 6f,25, et en 1877, de 6f,25 à 7f,50 (*). L'augmentation finale n'est pas, comme on le voit, très importante, surtout si l'on songe que pendant ce même intervalle de temps les prix des matériaux et de la main-d'œuvre ont à peu près doublé.

Et si, au lieu du prix du lignite gros, on prend celui du tout-venant, on voit qu'il a plutôt baissé depuis 1860.

Dans le bassin de Saatz-Teplitz, en effet, ce prix de vente moyen, parti de 3f,60 en 1860, a décru d'une manière progressive jusqu'à 3 francs en 1869; puis, par une marche ascendante très rapide, il s'est élevé jusqu'à un maximum de 4f,70 atteint en 1871, au lendemain de la guerre franco-allemande. Une brusque réaction s'est produite l'année suivante, suivie d'un mieux relatif; après quoi la marche descendante a repris régulièrement son cours. En 1879, ce prix était tombé à 2f,85, et je n'ai pas connaissance qu'il ait remonté depuis. J'ai déjà dit d'ailleurs qu'un relèvement des prix payés par les consommateurs n'aurait qu'une faible influence sur le prix de vente sur place et serait employé presque exclusivement à élargir le marché.

Dans le groupe d'Elbogen, le prix de vente moyen, d'abord de 4f,75 environ par tonne en 1860, s'est élevé progressivement jusqu'à un maximum de 7 francs en 1873, pour redescendre ensuite à 5f,30 en 1879.

Un autre fait qui se dégage aussi de ces chiffres, c'est l'augmentation progressive de la valeur moyenne du lignite d'Elbogen comparée à celle des charbons de Saatz-Teplitz. J'ai déjà expliqué que les lignites gras du sous-bassin de Falkenau figurent pour une proportion très importante dans la production totale du bassin d'Elbogen; or ils sont très

(*) Il est intéressant de noter, en regard de ces chiffres, qu'en novembre 1877 les lignites de Styrie ne se vendaient que 5f,50 à 6f,50 la tonne, tandis que d'autre part les houilles de Kladno, qui disputent aux lignites de Bohême le marché de Prague, atteignaient le prix de 14f,50 à 16f,25 la tonne de gros.

recherchés à cause de leurs propriétés collantes et de leur faculté de donner du gaz; il n'y a donc rien d'étonnant à ce que leur prix soit plus élevé. En 1860, la plus-value était de 33 p. 100 sur le prix des lignites maigres du bassin de l'Est. Après quelques soubresauts, cette plus-value a atteint successivement 64 p. 100 en 1865, 75 p. 100 en 1872, et 87 p. 100 en 1879. Elle a donc suivi depuis 1860 une marche ascendante bien caractérisée, et elle a de grandes chances de s'accentuer encore davantage.

d. ***Nombre des ouvriers occupés. — Rendement moyen annuel. — Salaires.*** (Voir annexe n° 1, colonnes 11, 12, 13, 14 et 15 du tableau chronologique, ainsi que les diagrammes respectifs, Pl. VIII, *fig.* 3, et Pl. IX, *fig.* 3.)

α. Bassin de Saatz-Teplitz. — Le nombre des ouvriers a suivi dans le bassin de Saatz-Teplitz une marche parallèle au chiffre de l'extraction, mais moins rapide. En 1865, la population minière comptait déjà 3.716 individus; elle a baissé d'une centaine à peu près en 1866, par suite de la guerre austro-prussienne; puis elle s'est accrue régulièrement jusqu'en 1870, où elle atteignait près de 5.000 individus, y compris les femmes et les enfants. En même temps, le rendement moyen annuel par homme, qui n'était que de 207 tonnes en 1865, atteignait 335 tonnes en 1870, ayant ainsi augmenté de plus de 60 p. 100 (*).

A partir de 1870, une nouvelle période commence, pendant laquelle, sous une impulsion commune alors à toutes les industries, de nouvelles exploitations se créent de

(*) Les chiffres indiqués ci-après pour le rendement par ouvrier, résultant d'un calcul dans lequel sont compris les femmes et les enfants, sont en réalité un peu trop faibles, et demanderaient à être relevés en conséquence, si l'on voulait obtenir le rendement par homme valide du fond ou du jour. Ils devraient encore être forcés davantage pour arriver à représenter l'effet utile annuel d'un piqueur.

toutes parts. La population ouvrière augmente rapidement, jusqu'à presque doubler dans l'espace de trois ans : elle atteint 9.500 individus en 1873. Mais par contre le rendement moyen diminue et retombe à 320 tonnes, ce qu'il faut probablement attribuer à une nouvelle prédominance, à cette époque, du traçage sur le dépilage proprement dit.

Après 1873, l'influence de la crise industrielle générale se fait sentir, et la fièvre se calme. Le progrès de la population minière reprend à peu près la même marche que de 1866 à 1870, et du même coup le rendement retrouve l'accroissement régulier qu'il présentait pendant cette première période. Le léger rebroussement que présente la courbe de la population en 1877 est d'ailleurs compensé par une augmentation correspondante du rendement. En 1879, le nombre des ouvriers atteignait 12.235 et leur rendement moyen annuel 453 tonnes (*).

La plupart des mines dont j'ai décrit les méthodes d'exploitation dans la partie technique de ce mémoire, et qui toutes se trouvent dans le bassin de Saatz-Teplitz, emploient

---

(*) Il peut être intéressant de comparer ces chiffres avec les résultats obtenus dans le bassin de Schlan-Kladno. Ce dernier occupait en 1871 une population de 7.000 ouvriers environ, fournissant chacun un rendement annuel moyen de 190 tonnes de charbon. Ce chiffre est à peu près celui obtenu dans le bassin de Saint-Étienne.

Dans le basin silésien, dont les houilles viennent aussi concurrencer les lignites de Bohême à Vienne et en Prusse, l'effet utile moyen par homme et par an est de 115 tonnes, un peu inférieur à celui que l'on obtient en Belgique.

Je rappellerai aussi, à titre de comparaison, qu'en 1873 l'effet utile moyen par homme et par an n'était que de :

162	tonnes dans les bassins à lignite	de la Moravie.
150	—	de la Carinthie.
140	—	de la Styrie.

En revanche il s'élevait à 427 tonnes dans les mines de lignite de l'Allemagne du Nord.

de 300 à 500 ouvriers. Ce nombre varie suivant les saisons, mais il atteint son maximum en hiver.

β. *Bassin d'Elbogen.* — Le nombre des ouvriers a également suivi, dans le bassin d'Elbogen, une marche réglée à peu près sur celle de la production.

En 1869, première date pour laquelle on possède ce renseignement, la population minière totale du bassin était seulement de 1.500 individus, y compris les femmes et les enfants. En 1874, elle avait plus que doublé et atteignait 3.435 individus. Pendant cette même période, le rendement s'était élevé par saccades de 145 à 184 tonnes.

L'année suivante, en 1875, la population ouvrière baissait brusquement de près d'un tiers, pendant que le rendement, au contraire, augmentait subitement de près de moitié et atteignait 260 tonnes, maximum qui n'a jamais été atteint depuis.

A partir de ce moment, le nombre des ouvriers est resté à peu près stationnaire, comme d'ailleurs aussi la production; en 1879, il ne dépassait pas 2.450 individus. Pendant ce même temps, le rendement retombait à 220 tonnes, pour se relever lentement jusqu'à 242 en 1879.

En résumé, en 1879, la population minière des deux bassins comptait 13.678 individus donnant, l'un dans l'autre, un rendement général moyen de 416 tonnes par an.

Au point de vue des salaires, l'amélioration n'a pas été moins importante. Vers 1858-1860, les piqueurs recevaient en moyenne 2f,50 par jour. Dès 1873, ce chiffre avait plus que doublé, et variait entre 5f,00, et 6f,25; il a toutefois un peu baissé depuis. Du salaire des piqueurs on peut ensuite facilement déduire celui des autres ouvriers. Il est, en effet, en général plus faible de 28 à 33 p. 100 pour les rouleurs, et de 39 à 50 p. 100 pour les ouvriers du jour.

Ces bons résultats sont dus en partie à l'organisation du

travail à la tâche et à l'augmentation du rendement en charbon de chaque ouvrier; ce rendement a, en effet, plus que doublé, comme je l'indiquais tout à l'heure, depuis 1858. Mais cette amélioration des salaires résulte aussi, pour une bonne part, d'une augmentation dans les tarifs unitaires payés aux piqueurs et aux rouleurs.

B. — Circulation et consommation.

a. ***Répartition du lignite extrait entre les différentes voies de transport à l'intérieur du bassin.*** (Voir annexe n° 2, colonnes 2, 3, 4, 5, 6 et 7 du tableau chronologique, et le diagramme figuratif Pl. VIII, *fig.* 4.)

Après avoir étudié la production et les faits qui s'y rattachent, il nous reste à examiner comment s'écoule le stock de charbon extrait, à l'intérieur du bassin d'abord, à l'extérieur ensuite.

La région tout entière, comme le montre la carte de la Pl. IV, *fig.* 1, est sillonnée de nombreuses voies ferrées qui vont se raccorder par des tronçons spéciaux avec la plupart des sièges d'extraction.

En première ligne viennent les chemins de fer de Komotau à Aussig [***Aussig-Teplitzer Eisenbahn*** (*)] et de Komotau à Bodenbach (***Dux-Bodenbacher Eisenbahn***); ce sont les deux grandes artères longitudinales du bassin de Saatz-Teplitz.

Elles le relient, d'une part, à l'Elbe et à la grande voie internationale de transit qui va de Vienne à Berlin en pas-

(*) Cette compagnie possédait dans le bassin, à la fin de 1879, 155 kilomètres de voie, répartis comme suit :

D'Aussig à Komotau (double voie jusqu'à Dux)	65	kilom.
De Türmitz à Bilin	26	—
De Dux à Schwatz	6	—
Quais d'embarquement sur l'Elbe à Aussig	8	—
75 tronçons de raccordement avec des sièges d'extraction ou des établissements divers. Longueur totale	50	—
Total	155	—

sant par Dresde, et de l'autre, par Komotau, à Prague et à la Saxe par Weipert. Ces deux lignes ont transporté à elles seules, en 1879, les 4/5 de la production totale du bassiu de Saatz-Teplitz et représentaient en 1880 les 85/100 du trafic total des chemins de fer du bassin. Elles desservent principalement l'exportation en Allemagne par l'Elbe (*) et le chemin de fer de Dresde à Leipzig et Magdebourg. Les chargements de la ligne de Komotau à Aussig se font principalement sur la section comprise entre Brüx et Schönfeld (2e station après Aussig). Ceux de la ligne de Komotau à Bodenbach se font en majeure partie à Dux et à Teplitz.

Le reste du trafic local se partage entre quelques autres lignes moins importantes. Ce sont :

1° Le chemin de fer de Prague à Eger, et de Komotau à Weipert (*Buschtiehrader Eisenbahn*), qui traverse et dessert tout le bassin d'Elbogen et, d'autre part, reçoit à Komotau, des lignes d'Aussig et de Bodenbach, les charbons à destination de Prague, ou de la Saxe par Weipert ;

2° Le chemin de fer d'Eisenstein à Komotau (*Pilsen-Priesener Eisenbahn*) qui prend à Komotau les charbons à destination de Budweis, de Linz (sur le Danube), et du Tyrol par Mühldorf et le sud-est de la Bavière ;

3° Le chemin de fer de Prague à Dux (*Prag-Duxer Eisenbahn*), qui dessert principalement le commerce en gros et les fabriques de sucre établies au nord-ouest de Prague ;

4° Le chemin de fer du Nord-Ouest autrichien (*Oesterreichische-Nordwestbahn*), qui reçoit la plus grande partie des charbons à destination de Vienne.

α. Trafic du chemin de fer d'Aussig-Teplitz. — Ce chemin

(*) L'embarquement a lieu à Aussig pour les charbons de la ligne d'Aussig-Teplitz, et à Rosawitz pour ceux de la ligne de Dux-Bodenbach.

de fer est le seul du bassin qui date d'avant 1871 (*); tous les autres sont de construction postérieure.

Avant cette époque, les transports se partageaient exclusivement entre cette ligne unique et les routes de terre.

En 1860, un petit nombre seulement d'exploitations avaient terminé leur aménagement et commençaient à faire des envois un peu importants. Ce fut le puits Arnold, à Türmitz, qui débuta dans cette voie. Cette même année, le chemin de fer d'Aussig à Teplitz transporta près de 200.000 tonnes représentant environ 38 p. 100 de la production totale du bassin de Saatz-Teplitz.

A part un léger temps d'arrêt en 1866, le trafic de ce chemin de fer s'est développé avec rapidité, se doublant régulièrement tous les quatre ans jusqu'en 1872, où il atteignait le chiffre de 1.500.000 tonnes, soit 65 p. 100 de la production du bassin Est.

En 1870, ce trafic représentait 75 p. 100 de la production totale de ce même bassin. C'est la proportion la plus forte qui ait été atteinte. Elle n'a fait que décroître depuis lors, au fur à mesure de la création de lignes nouvelles.

De 1872 à 1876 le développement du trafic s'est très légèrement ralenti. Il y a eu ensuite stagnation à peu près complète en 1877 et en 1878; après quoi le mouvement ascensionnel a repris son cours normal.

En 1880, le trafic de cette ligne en charbon atteignait le chiffre de 3.343.000 tonnes, représentant 54 p. 100 de la production du bassin Est.

β. *Trafic des autres lignes.* — Je dirai seulement que la ligne de Komotau à Bodenbach, par son accès à l'Elbe, s'est fait, elle aussi, depuis 1871, une part de plus en plus

(*) Le tronçon d'Aussig à Teplitz a été livré à l'exploitation en 1858; celui de Teplitz à Dux en juillet 1867; celui de Dux à Komotau en octobre 1870.

grande dans le trafic du bassin, dont elle représente actuellement le cinquième comme le montre le tableau ci-dessous. Toutefois ce développement, extrêmement rapide de 1871 à 1876 et correspondant pendant ce laps de temps à une période moyenne de doublement de 15 mois et demi, s'est presque complètement arrêté depuis.

Quant aux quatre autres chemins de fer dont j'ai aussi parlé tout à l'heure, ils ont suivi, dans le progrès de leur trafic, une marche à peu près parallèle, quoique moins rapide, avec stagnation à peu près complète depuis 1877.

Le tableau suivant indique quelle était la situation générale à ce point de vue en 1880.

Tableau de la répartition du trafic des lignites entre les différents chemins de fer à l'intérieur du bassin, en 1880.

DÉSIGNATION des compagnies de chemin de fer.	QUANTITÉS transportées.	PROPORTION p. 100.
	tonnes	
Aussig-Teplitz-Komotau	3.342.966	64,2
Bodenbach-Dux-Komotau	1.073.332	20,6
Buschtiehrader	446.781	8,6
Pilsen-Priesen (Komotau)	152.213	3,0
Prague-Dux	191.909	3,6
Nord-Ouest autrichien	1.489	»
Total	5.208.690	100 p. 100

γ. *Consommation sur place et transports par voiture.* — En 1860, alors que la ligne d'Aussig-Teplitz existait seule, la consommation sur place et les transports par routes représentaient 68 p. 100 de la production totale des deux bassins.

Depuis ils n'ont fait que perdre relativement de leur importance. Ainsi, de 1860 à 1878, ils arrivaient à peine à doubler leur contingent et à le porter de 400.000 à 800.000 tonnes. En 1879, ils ne représentaient pas plus de 1 million de tonnes, soit 18 p. 100 de la production totale des deux bassins. Ces chiffres sont significatifs.

b. *Répartition de la production entre la consommation locale, la consommation en Autriche et l'exportation à l'étranger.* (Voir annexe n° 2, colonnes 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 et 15 du tableau chronologique et le diagramme figuratif, Pl. VIII, *fig.* 5.) — Il y a lieu de distinguer dans l'histoire de cette répartition trois périodes différentes : pendant la première, antérieure à 1871, le chemin de fer de Komotau à Aussig constituait la seule voie ferrée du bassin, et les transports étaient, pour la plupart des exploitations, difficiles et coûteux. Aussi les expéditions à l'étranger ne représentaient-elles alors, au moins depuis 1866, qu'un peu plus du tiers (35 à 40 p. 100) de la production totale.

Pendant la seconde période, de 1871 à 1875, de nouvelles lignes ferrées se créèrent. L'exportation élargit progressivement son cercle et arriva petit à petit à absorber la moitié de la production totale.

Enfin pendant la troisième période, de 1875 à 1879, la construction des lignes ferrées étant à peu près terminée, le taux proportionnel de l'exportation est resté constant et égal à 50 p. 100.

Au point de vue absolu, la consommation locale et l'exportation ont suivi l'une et l'autre une marche constamment ascendante et même assez rapide, surtout pour cette dernière qui, de 1869 à 1873 seulement, a vu doubler son importance (*).

Si nous comparons maintenant la consommation dans l'intérieur du bassin à celle qui se fait dans le reste de l'empire, nous voyons que la première a toujours été de beaucoup prépondérante, mais que cependant son impor-

---

(*) En retour de cette exportation de lignites, la Bohême importe chaque année une quantité assez considérable de houilles de Silésie. Cette importation s'élevait en 1877 à plus de 500.000 tonnes pour une exportation totale de lignites cinq fois plus forte, soit de 2.500.000 tonnes.

tance relative n'a cessé de décroître, puisqu'elle est descendue, de quatre fois la seconde en 1866, à deux fois seulement en 1879.

L'exportation à l'étranger a lieu soit par l'Elbe, soit par chemins de fer. Les deux modes de transport ont progressé largement, mais avec des vitesses différentes.

1° *Expéditions par l'Elbe.* — Elles sont alimentées exclusivement par les deux lignes de Komotau-Teplitz-Aussig et de Komotau-Dux-Bodenbach. Elles se font au moyen de bateaux chargeant en moyenne de 200 à 280 tonnes de charbon, remorqués par un service de touage installé dans ces dernières années.

Les départs sont réglés par la hauteur des eaux et le degré de navigabilité du fleuve; ils ont lieu généralement d'avril à août. Pendant cette période les expéditions atteignaient, en 1880, le chiffre de 132.000 tonnes par mois.

L'embarquement a lieu à Aussig pour les charbons amenés par le chemin de fer d'Aussig-Teplitz et à Rosawitz pour ceux provenant de la ligne de Dux-Bodenbach (*).

Ces charbons se rendent ainsi, par l'Elbe, à Magdebourg où une partie subit un transbordement sur les chemins de fer se dirigeant vers l'Ouest. Le reste descend jusqu'à Hambourg, ou va, par la Havel et les canaux qui s'y rattachent, à Berlin, et même jusqu'à Stettin par l'Oder. Sur 100.000 tonnes de lignite de Bohême, consommées à Berlin en 1872, plus de 16.000 étaient venues par eau.

De 1866 à 1874, les expéditions par l'Elbe ont crû d'une façon assez lente, passant de 200.000 à 330.000 tonnes, mais depuis, grâce aux améliorations constantes apportées

---

(*) Les quantités de charbon livrées à la batellerie par les deux lignes, en 1880, ont été les suivantes :

Ch. de fer d'Aussig-Teplitz.. . . .	878.535 tonnes,	embarquées à Aussig.
— de Dux-Bodenbach . .	173.073 —	— à Rosawitz.
Total.	1.051.608 tonnes.	

par la Prusse, la Saxe et l'Autriche à la navigabilité de l'Elbe dont le cours irrégulier rend les transports par eau impossibles pendant une partie de l'année, grâce surtout à la pose récente d'une chaîne de touage, elles ont pris un développement rapide, atteignant plus d'un million de tonnes en 1880, avec des périodes de doublement respectivement de quatre ans et de trois ans et demi.

D'autre part, le gouvernement allemand, qui pendant longtemps avait paru peu se préoccuper des voies navigables, commence à en comprendre toute l'importance commerciale et vient de mettre à l'étude un projet de réunion de la Sprée, par un canal, à l'Elbe d'une part, et de l'autre à l'Oder. Ce fait est d'une grande importance pour l'avenir de l'industrie des lignites de Bohême, auxquels il ouvrira plus largement le grand marché de Berlin.

2° *Expéditions par chemins de fer.* — Pour ce qui regarde les expéditions par chemins de fer, le progrès a été plus rapide encore. Parties de 130.000 tonnes en 1866, c'est-à-dire d'un chiffre inférieur presque de moitié aux expéditions par l'Elbe à cette époque, elles doublaient successivement d'importance en 1869, en 1871, au milieu de 1873, et enfin seulement en 1880, où elles atteignaient le chiffre de 2.115.000 tonnes, soit plus du double de l'exportation par l'Elbe.

Le mouvement, d'abord vivement accentué, s'est, comme on le voit, un peu ralenti pendant la dernière période.

Les lignes étrangères qui absorbent la plus grande partie de ce trafic sont les lignes de l'État, dans la Saxe-Royale et la Bavière; celles de Berlin à Anhalt, à Görlitz, à Dresde, etc. (*).

La carte figurative de la Pl. IX, *fig.* 1, montre comment ce

(*) Les quantités de lignite transportées respectivement par ces différents chemins de fer, en 1880, ont été les suivantes :

trafic se répartissait en 1879 entre les différentes voies ferrées de l'Europe centrale.

La seule observation que je croie devoir ajouter, au sujet du marché de ces combustibles, porte sur l'étendue inespérée qu'il a prise et qu'il continue encore à accroître chaque année.

En 1870, ses limites étaient :

Au nord. — Braunschweig, Stendal (au nord de Magdebourg), Berlin et Cottbüs.
A l'est. — Görlitz.
Au sud. — Olmütz, Brünn, Prague.
A l'ouest. — Zwickau, Gera et Eisenach.

En 1880, elles dépassaient les confins de l'empire germanique, embrassaient toute l'Europe centrale et atteignaient :

Au nord. — Hambourg, Wismar, Stralsund et l'île de Rügen, Stettin et Cöslin (ligne de Stettin à Dantzig).
A l'est. — Posen, Breslau et Olmütz.
Au sud. — Presbourg, Vienne, la Styrie, le Tyrol, Venise, Rome, Turin, etc.
A l'ouest. — Lucerne, Genève, Bâle, Mulhouse, Colmar, Schlettstadt, Carlsruhe et Mayence.

Prix des transports. — Une partie de ces résultats remarquables sont dus à la réduction des tarifs de transports depuis vingt ans.

Ainsi les prix des expéditions par l'Elbe, d'Aussig à Magdebourg (environ 330 kilomètres), qui en 1865 variaient de 7f,50 à 14f,40 par tonne, soit de 0f,0225 à 0f,045 par tonne kilométrique, ne correspondaient déjà plus en 1869 qu'à 0f,0190 ou 0f,0255. Ils sont ensuite restés à peu près stationnaires jusqu'en 1876. De 1876

État saxon	1.140.031	tonnes.
État bavarois	266.878	—
Berlin-Anhalt	150.402	—
Berlin-Görlitz	81.552	—
Berlin-Dresde	80.384	—

à 1879, ils ont recommencé à décroître et très rapidement; pendant le cours de cette dernière année ils sont restés compris entre 3f,90 et 7f,88 par tonne; soit entre 0f,0118 et 0f,0238 par tonne kilométrique.

Il faut sans doute attribuer ce résultat à l'installation sur l'Elbe d'un service de remorquage à chaîne noyée et au développement rapide de la batellerie qui en a été la conséquence.

Une coïncidence curieuse à noter est que cette marche est exactement inverse de celle de l'importance totale des expéditions pour Magdebourg, dont la *fig.* 6 de la Pl. VIII donne le diagramme figuratif. Pendant les années de relèvement des prix, on voit le chiffre de la consommation à Magdebourg baisser, pour se relever aussitôt qu'un nouvel abaissement de tarifs se produit.

Les tarifs des chemins de fer n'ont pas suivi tout à fait la même marche, malgré l'établissement de nombreux tarifs spéciaux, communs, et internationaux, destinés à faciliter et à provoquer l'exportation des lignites de Bohême en Allemagne.

J'ai réuni dans le tableau suivant, à titre d'exemple, les prix comparés des transports des lignites, depuis le centre du bassin jusqu'aux principales villes de consommation, en 1866, en 1869 et en 1879, avec le calcul des tarifs kilométriques moyens correspondants.

ableau comparatif des prix (*) de transport des lignites de Bohême, en 1866, 1869 et 1879, de Karbitz, viâ Aussig, à quelques-unes des villes de l'Allemagne.

NOMS des villes de destination.	DISTANCES moyennes au centre du bassin.	1866.			1869.			1879.			RÉDUCTION p. 100 de 1866 à 1879.
		Quantités de lignite consommées.	Prix du transport par tonne.	Tarifs kilométriques moyens.	Quantités de lignite consommées.	Prix du transport par tonne.	Tarifs kilométriques moyens.	Quantités de lignite consommées.	Prix du transport par tonne.	Tarifs kilométriques moyens.	
	kilom.	tonnes.	fr.	cent.	tonnes.	fr.	cent.	tonnes	fr.	cent.	
Dresde.	118	57.540	6,38	5,30	97.295	5,20	4,40	226.311	5,65	4,72	11,00
Leipzig.	240	14.440	10,70	4,45	22.910	9,00	3,75	90.879	10,02	4,18	6,35
Berlin	280	14.670	14,40	5,14	40.400	11,05	3,95	190.611	10,88	3,89	24,50
Magdebourg. .	359	102.270	16,90	4,70	131.730	12,35	3,45	222.202	12,90	3,59	23,50
Munich.	(1) 433	»	»	»	»	(2) 18.30	(2) 4,22	17.326	16,50	3,80	9,80

OBSERVATIONS.

(1) A Dux viâ Eger. | (2) En 1873.

(*) Ces prix, évalués en marks d'Allemagne dans les documents originaux, n'ont pas à subir la dépréciation dont j'ai parlé au sujet du florin d'Autriche.

Ces tarifs sont, comme on le voit, assez capricieux, puisqu'ils ne décroissent pas régulièrement avec la distance.

A partir de 1865, ils se sont progressivement abaissés jusqu'à des minimums atteints en 1869. De 1869 à 1873, ils sont restés rigoureusement stationnaires ; puis en 1874, ils ont subi un brusque relèvement pour baisser ensuite de nouveau peu à peu et arriver aux taux de 1879.

La faible valeur du lignite relativement à la houille devrait lui valoir des tarifs plus modérés. C'est souvent le contraire qui a lieu. Ainsi M. Purgold indique qu'en 1873 les lignites expédiés de Bohême à Berlin (distance 280 kilomètres), payaient 112f,50 par wagon de 10 tonnes, soit 4cent.,02 par tonne kilométrique, tandis que les houilles concurrentes de Westphalie y arrivaient au prix de 154 fr. pour une distance de 490 kilomètres, ce qui cor-

respond à un tarif kilométrique de $3^{\text{cent.}}$,15 seulement par tonne.

Les tarifs dans l'intérieur de l'Autriche sont plus élevés encore, à l'exception toutefois de ceux de la ligne d'Aussig-Teplitz. Le chemin de fer du Nord bohémien comptait, par exemple, en 1873, 27 florins (environ 55 fr.) par wagon de 10 tonnes pour le petit trajet de 56 kilomètres de Bodenbach à Warnsdorf, soit près de 10 centimes par tonne kilométrique. Ces prix exorbitants ont fermé longtemps aux lignites de Bohême le marché de Reichenberg, distant seulement de 140 kilomètres du bassin.

La Compagnie de la Buschtiehraderbahn, qui possède la ligne de Komotau à Eger, restreint aussi en partie, par l'élévation de ses tarifs, l'essor du marché vers la Bavière et le Würtemberg. On voit par le tableau ci-dessus que le tarif pour Munich est relativement plus élevé que celui de Magdebourg, quoique cette dernière ville soit moins éloignée.

C'est sans doute à toutes ces causes qu'il faut rapporter les plaintes très vives que font entendre contre ces tarifs les exploitants du bassin. Une partie des difficultés tient à la division du réseau qui dessert le bassin, entre plusieurs compagnies nécessairement rivales. Tout dernièrement encore le gouvernement de Vienne a été officiellement saisi de la question par une importante pétition, adressée au ministre de l'agriculture et du commerce à l'effet de réclamer son intervention auprès des compagnies de chemins de fer en faveur de l'industrie bohémienne. On voit par là que la France n'a pas seule le privilège des récriminations sur cette question éminemment irritante.

Sans vouloir porter un jugement quelconque sur la question, ce qui me serait d'autant plus difficile que les éléments d'appréciation me font défaut, je remarque que ces tarifs, malgré l'abaissement qu'ils ont subi depuis 1866, sont encore supérieurs à ceux appliqués aujourd'hui en

France, par exemple, pour les mêmes matières, et j'estime avec MM. Augener et Purgold, qui en exprimaient le désir dans une brochure que j'ai déjà citée (*), qu'une entente loyale entre les compagnies et les exploitants, dont les intérêts sont solidaires dans l'espèce, serait la meilleure des solutions.

Il est à remarquer que c'est pour Berlin, où la baisse des tarifs de 1866 à 1879 est la plus forte (25 p. 100), que la consommation a crû le plus rapidement, comme le montre le tableau annexe n° 2, colonne 20, ainsi que le diagramme de la *fig.* 6, Pl. VIII. Elle a passé, en effet, de 15.000 tonnes en 1866 à 188.000 tonnes en 1877, c'est-à-dire qu'elle est devenue 12 fois et demie plus forte en onze ans, ce qui correspond à une période de doublement de 3 ans 1/5. Depuis 1877, cette consommation est restée stationnaire.

Au point de vue de la rapidité du développement de la consommation, Prague vient immédiatement après Berlin. De 16.000 tonnes en 1866, la consommation y a atteint progressivement 118.000 tonnes en 1878, avec une période de doublement de 4 ans 1/5. De 1878 à 1880, elle n'a pas varié.

A Leipzig, la consommation a crû, comme à Prague, jusqu'en 1875, où elle atteignait 87.000 tonnes. Depuis lors, elle est restée sensiblement stationnaire.

A Dresde et à Magdebourg, sa marche a été plus irrégulière. Dans la première de ces villes, la quantité consommée a crû, malgré quelques arrêts en 1872, 1876 et 1877, de 58.000 tonnes en 1866, à 285.000 tonnes en 1878 (période de doublement correspondante : 5 ans 1/4). Depuis elle est un peu retombée; elle n'atteignait que 240.000 tonnes en 1880.

A Magdebourg, la consommation s'est élevée par soubresauts (1870 et 1875) alternant avec des temps d'arrêt ou

(*) *Das Braunkohlenbecken*, etc.

de recul, de 102.000 tonnes, chiffre qui la représentait en 1866, à 266.000 tonnes en 1880.

Après ces centres principaux de consommation, je pourrais citer, en Autriche, 40 localités qui brûlent annuellement plus de 10.000 tonnes de lignites de Bohême, et un nombre égal à l'étranger.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION.

Au point de vue topographique, le gisement de lignites de la Bohême septentrionale forme, le long du pied méridional de l'Erzgebirge, trois bassins principaux. Ce sont, en allant de l'ouest à l'est : le bassin d'Elbogen, qui comprend les deux sous-bassins d'Eger et de Falkenau ; le bassin de Saatz-Teplitz qui embrasse les deux sous-bassins de Saatz et de Bilin, et enfin le bassin de Leitmeritz, sur la rive droite de l'Elbe.

Au point de vue géologique, la formation lignitifère se partage, relativement aux éruptions basaltiques et phonolitiques survenues à l'époque éocène supérieure, en trois étages.

L'*étage inférieur*, d'âge éocène moyen, renferme, dans le sous-bassin de Falkenau, une couche de 4 à 5 mètres de puissance, d'un lignite gras très estimé. Cet étage est exploité exclusivement dans le bassin d'Elbogen.

L'*étage moyen ou basaltique*, d'âge éocène supérieur, renferme, dans le bassin de Leitmeritz, un certain nombre de couches minces de bon lignite, alternant avec des tufs basaltiques. Il donne lieu sur la rive droite de l'Elbe à quelques exploitations de faible importance.

L'*étage supérieur*, d'âge miocène inférieur, renferme dans le bassin de Saatz-Teplitz une couche de lignite régulière, généralement peu inclinée, souvent unique, ayant en moyenne 14 mètres de puissance et atteignant quelquefois le double. Cette couche s'étend de Komotau à Aussig sur

une longueur de près de 70 kilomètres avec une largeur qui atteint, en certains points, 23 kilomètres; ses affleurements sont nombreux, et sa profondeur au-dessous de la surface dépasse rarement 150 mètres. Au point de vue industriel, cet étage est de beaucoup le plus important.

Le charbon a incontestablement une origine de tourbières. Il appartient, dans le bassin de Saatz-Teplitz, à la catégorie des lignites secs ou lignites proprement dits, et contient de 15 à 20 p. 100 d'eau au sortir de la mine et de 5 à 6 p. 100 de cendres. Un kilogramme donne 4.300 à 4.500 calories et vaporise de 4 à 5 kilogr. d'eau. Il s'altère et s'émiette rapidement à l'air. Différents essais de préparation ont été faits, mais ils n'ont donné jusqu'à ce jour aucun résultat concluant.

L'exploitation a lieu à ciel ouvert aux affleurements. Dans les travaux souterrains, on emploie diverses méthodes de foudroyage sans remblai, en une ou plusieurs tranches, horizontales ou inclinées.

Ces méthodes d'exploitation se ramènent essentiellement pour la plupart, à une division du champ d'exploitation en piliers carrés de 10 à 20 mètres de côté, à un sous-cavage de $2^m,25$ à la base avec étayage du toit au fur et à mesure, à l'enlèvement des étais pour provoquer l'éboulement de la masse en une ou plusieurs fois, et enfin à l'enlèvement du charbon éboulé avant la chute du toit.

Malgré les inconvénients qu'elles présentent au point de vue de l'introduction des eaux souterraines et superficielles dans les travaux, ces méthodes sont presque les seules employées dans le bassin.

Les galeries sont partout hautes et spacieuses et se tiennent généralement sans boisage. Le roulage est fait par les piqueurs eux-mêmes, jusqu'aux plans inclinés automoteurs, et du pied de ceux-ci au puits d'extraction, par des chevaux, ou même parfois à l'aide de tractions mécaniques par câbles.

Le triage des gros fragments a lieu dans la mine même. Celui du tout-venant se fait au jour et mécaniquement.

Le prix de revient reste généralement compris entre 2f,50 et 3f,65 par tonne. Le prix de vente moyen est inférieur à 3 francs dans le bassin de Saatz-Teplitz et à 5f,50 dans le bassin d'Elbogen. — La capacité presque indéfinie de production du bassin rend peu probable le relèvement de ces prix, qui d'ailleurs, s'il venait à se produire, ne servirait qu'à étendre le marché.

On emploie ces lignites au chauffage domestique, à la cuisson du pain, de la chaux, de la brique, au chauffage des chaudières fixes, dans les fabriques de sucre, et même au Bessemer.

L'exploitation occupe près de 14.000 ouvriers, dont les 5/6 dans le bassin de Saatz-Teplitz. Le rendement moyen annuel par ouvrier est de 450 tonnes dans ce dernier bassin, et de la moitié seulement dans celui d'Elbogen, par suite de difficultés spéciales. Les salaires varient de 2 à 6 francs par jour. De nombreuses institutions de prévoyance assurent les ouvriers contre la maladie et le besoin.

La production, après un développement des plus rapides, atteint déjà près de 6.000.000 de tonnes par an, dont les 9/10 environ sont fournis par le bassin de Saatz-Teplitz.

La valeur ainsi créée représente plus de 17 millions de francs, sans compter les taxes de transports encaissées par les compagnies de chemins de fer et qui représentent souvent deux à trois fois la valeur du combustible sur place.

L'expédition se fait par de nombreuses voies ferrées qui sillonnent le bassin dans tous les sens et vont se raccorder par des embranchements spéciaux avec la presque totalité des puits.

Les 3/5 de la production du bassin de Saatz-Teplitz s'écoulent par le chemin de fer de Komotau à Aussig, et 1/5 par celui de Komotau à Bodenbach ; ce sont là les deux grandes artères longitudinales du bassin.

La moitié de la production totale reste en Autriche, où elle est consommée pour les 2/3 à l'intérieur du bassin. L'autre moitié s'écoule à l'étranger, principalement en Allemagne, et se répand au nord jusqu'aux rives de la Baltique, à l'est jusqu'à Breslau, au sud jusqu'à Venise et Rome, à l'ouest jusqu'à Genève, Colmar et Mayence.

Les exportations se font, pour un tiers par l'Elbe et les canaux qui s'y rattachent, et pour les deux autres tiers par chemins de fer.

Magdebourg, Dresde, Berlin et Prague sont, dans l'ordre décroissant de leur importance, les centres principaux de consommation de ce combustible. Magdebourg en absorbe annuellement plus de 260.000 tonnes et Prague plus de 120.000.

Par l'importance de sa production et l'étendue considérable de son marché, le bassin à lignites du nord-ouest de la Bohême constitue actuellement, malgré la date relativement récente de sa mise en valeur, un des principaux gîtes de combustibles minéraux de l'Europe centrale. Il méritait donc une étude approfondie.

Pour l'avenir, il y a lieu de prévoir une extension plus considérable encore de sa production et de son marché, le jour, il faut l'espérer peu éloigné, où une préparation convenable permettra d'appliquer les lignites aux usages métallurgiques, et où des tarifs sagement réduits leur faciliteront la lutte avec les houilles concurrentes.

ANNEXE

TABLEAU CHRONOLOGIQUE (1)

la production et la valeur des lignites extraits dans le nord-
le rendement annuel des ouvriers occupés,

ANNÉES.	PRODUCTION (*).			VALEUR de la production (**).		
	Bassin de Saatz-Teplitz.	Bassin d'Elbogen.	Total.	Bassin de Saatz-Teplitz.	Bassin d'Elbogen.	Total.
1	2	3	4	5	6	7
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	(2) francs.	(2) francs.	(2) francs.
1860	504.021	102.614	606.635	1.831.022	440.047	2.271.069
1861	599.803	115.265	715.068	2.179.102	570.680	2.749.782
1862	648.958	124.030	772.988	2.287.682	660.225	2.947.907
1863	720.374	139.369	859.743	2 638.857	682.745	3.321.602
1864	791.780	168.083	959.863	2.828.930	878.445	3.707.375
1865	768.038	177.677	945.715	2.630.455	996.417	3.626.872
1866	781.150	161.686	942.836	2.365.772	770.380	3 136.152
1867	1.039.110	200.685	1.239.795	3.393.155	945.285	4.338.440
1868	1.206.257	213.913	1.420.170	3.922.475	1.030.670	4.953.145
1869	1.426.083	224.497	1.650.580	4.372.850	1.090.417	5.463.267
1870	1.604.796	278.941	1.883.737	5.865.040	1.548.085	7.413.125
1871	2.000.317	314.609	2.314.926	9.464.060	1.981.950	11.446.010
1872	2.317.623	383.348	2.700.971	9.062.867	2.615.675	11.678.542
1873	3.023.805	502.676	3.526.481	12.854.945	3.534.230	16.389.175
1874	3 566.763	606.247	4.173.010	15.614.920	3,662.667	19.277.587
1875	3.951.953	611.731	4.563.684	15.243.722	3.208.900	18.452.622
1876	4.251.908	533.664	4.785.572	15.551.922	3.203.225	18.755.147
1877	4.411.446	552.005	4.963.451	14.728.227	3.198.092	17.926.319
1878	4 554.022	563.764	5.117.786	14.522.055	3.256.732	17.778.787
1879	5.109.363	592.292	5.701.655	14.383.907	3.150.445	17.534.352
Totaux et moyennes.	43.277.570	6.567.096	49.844.666	155.741.965	37.425.312	193.167.277

(*) Voir la traduction graphique de ce tableau Pl. VIII, *fig.* 1.
(**) — — Pl. VIII, *fig.* 2.
(***) — — Pl. IX, *fig.* 2.

(1) Ce tableau, ainsi que le suivant, ont été composés d'après des renseignements fournis par la *Chronologisch-Statistische Tafel über Productions-Transport- und Absatz-Verhältnisse der Böhmischen Braunkohlen*, de M. Richard Pollack.

(2) Ces chiffres ont été calculés en attribuant au florin autrichien sa valeur

N° 1

FAISANT CONNAITRE :

ouest de la Bohême, leur prix de vente moyen, le nombre et depuis 1860 jusqu'à 1880 exclusivement.

PRIX de vente moyen par tonne. (***)		RAPPORT des prix dans les deux bassins.	NOMBRE d'ouvriers occupés. (****)			RENDEMENT moyen annuel par ouvrier. (*****)	
Bassin de Saatz-Teplitz.	Bassin d'Elbogen.		Bassin de Saatz-Teplitz.	Bassin d'Elbogen.	Total.	Bassin de Saatz-Teplitz.	Bassin d'Elbogen.
8	9	10	11	12	13	14	15
(²) francs.	(²) francs.	francs.	ouvriers.	ouvriers.	ouvriers.	tonnes.	tonnes.
3,62	4,77	1,32	»	»	»	»	»
3,62	4,95	1,37	»	»	»	»	»
3,27	5,32	1,63	»	»	»	»	»
3,67	4,90	1,34	»	»	»	»	»
3,57	5,07	1,42	»	»	»	»	»
3,42	5,60	1,64	3.716	»	»	207	»
3,35	4,75	1,42	3.597	»	»	217	»
3,27	4,70	1,44	3.805	»	»	272	»
3,25	4,82	1,48	4.136	»	»	307	»
3,07	4,87	1,59	4.458	1.539	5.997	320	145
3,65	5,55	1,52	4.818	1.720	6.538	335	160
4,72	6,30	1,33	6.444	2.383	8.827	320	133
3,90	6,82	1,75	7.100	2.637	9.737	326	146
4,25	7,02	1,65	9.427	2.941	12.368	320	175
4,37	6,02	1,38	10.072	3.435	13.507	356	184
3,85	5,25	1,36	10.495	2.347	12.842	380	260
3,65	6,00	1,65	10.661	2.384	13.045	400	222
3,35	5,80	1,73	10.425	2.415	12.840	422	231
3,12	5,77	1,85	10.833	2.461	13.294	421	230
2,85	5,32	1,87	11.235	2.443	13.678	453	242
3,59	5,53	»	7.415	2 427	9.195	337	193

(****) Y compris les femmes et les enfants. (Voir la traduction graphique de ce tableau Pl. VIII, *fig.* 3.)

(*****) Y compris les femmes et les enfants. (Voir la traduction graphique de ce tableau Pl. IX, *fig.* 3.)

nominale de 2f,50. Mais en réalité ce taux est un maximum qui n'a jamais été atteint. La valeur du florin a oscillé entre 1f,90 et 2f,20, et, pour être exacts, les chiffres contenus dans ces colonnes demanderaient à être réduits dans le même rapport, c'est-à-dire de 12 à 24 p. 100.

ANNEX[E]

TABLEAU CHRONOLO[GIQUE]

1° La répartition du tonnage des lignites de Bohême entre les différ[ents]
2° La répartition de la production totale entre la consommation loc[ale]
3° La consommation de ces mêmes lignites dans les principaux cent[res]

ANNÉES.	RÉPARTITION du tonnage à l'intérieur du bassin (*).						de la pr[oduction]		
	Chemin de fer d'Aussig-Teplitz-Komotau.		Chemin de fer de Dux à Bodenbach.	Chemins de fer divers.	Consommation sur place et transports par voitures.		Consommation en Autriche		
	Quantités transportées.	Proportion p. 100 de la production du bassin de Saatz-Teplitz.			Nombre de tonnes.	Proportion p. 100 de la production totale des deux bassins.	à l'intérieur du bassin.	à l'extérieur du bassin.	To[tal]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	tonnes.		tonnes.	tonnes.	tonnes.		tonnes.	tonnes.	tonnes.
1860	193.921	35,7	»	»	412.714	68,0	»	»	»
1861	272.167	45,5	»	»	442.901	62,0	»	»	»
1862	295.159	45,5	»	»	477.829	61,8	»	»	»
1863	342.230	47,6	»	»	517.513	60,0	»	»	»
1864	419.384	52,9	»	»	540.479	56,3	»	»	»
1865	450.776	58,9	»	»	494.939	52,2	»	»	»
1866	448.540	57,5	»	»	494.296	52,3	485.414	127.430	[illegible]
1867	674.530	64,8	»	»	565.265	46,2	588.125	168.170	[illegible]
1868	776.120	64,2	»	»	644.050	44,5	657.262	194.840	[illegible]
1869	927.934	65,0	»	»	722.646	43,6	779.832	276.540	[illegible]
1870	1.190.970	74,5	»	»	692.767	36,5	762.963	367.280	[illegible]
1871	1.391.521	69,7	9.865	89.600	823.940	35,7	982.799	498.734	[illegible]
1872	1.508.023	65,0	119.363	158.048	915.537	33,8	1.015.573	478.000	[illegible]
1873	1.864.012	61,5	289.278	362.463	1.010.728	28,6	1.447.682	562.413	[illegible]
1874	2.089.394	58,9	718.663	492.157	872.796	20,8	1.557.144	654.552	[illegible]
1875	2.318.093	58,6	937.103	490.913	817.575	17,9	1.533.579	748.263	[illegible]
1876	2.496.553	58,2	1.019.823	563.484	705.712	14,8	1.627.702	812.940	[illegible]
1877	2.480.635	56,2	1.006.939	626.243	849.634	17,2	1.638.943	842.783	[illegible]
1878	2.574.510	56,4	1.101.377	627.389	814.510	15,9	1.709.301	849.592	[illegible]
1879	3.022.072	59,2	982.909	649.278	1.047.396	18,3	1.880.139	913.673	[illegible]
Totaux.	25.736.544	»	6.185.320	4.059.575	13.863.227	»	16.666.458	7.495.229	24.161.[illegible]
1880	3.342.966	»	1.073.332	792.392	?	»	?	996.439	?
Totaux.	29.079.510	»	7.258.652	4.851.967	?		?	8.491.668	?

(*) Voir la traduction graphique de ce tableau Pl. VIII, fig. 4.
(**) — — Pl. VIII, fig. 5.

(1) Distance approximative au centre du bassin.

N° 2

SANT CONNAITRE :

ɔs de transport à l'intérieur du bassin ;
'exportation ;
.dant la période de 1860 à 1880 inclusivement.

RÉPARTITION tion totale (**).					CONSOMMATION dans les principaux centres (***).				
	Exportation à l'étranger.				Prague.	Leipzig.	Dresde.	Magdebourg.	Berlin.
roportion p. 100. de la production totale	par eau (Elbe).	par chemins de fer.	Total.	Proportion p. 100. de la production totale.	D (1) = 125k.	D (1) = 240k.	D (1) = 118k.	D (1) = 359k.	D (1) = 280k.
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	tonnes.	tonnes.	tonnes.		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
65	200.000	129.992	329.992	35	16.110	14.440	57.540	102.270	14.670
61	290.000	193.500	483.500	39	21.250	19.036	69.420	105.420	21.320
60	250.000	318.068	568.068	40	23.300	20.450	92.015	106.348	49.764
64	315.840	278.368	594.208	36	25.960	22.910	97.295	131.730	40.400
60	310.000	443.494	753 494	40	36.080	30·240	109.485	140.385	50.565
64	295.000	538.373	833.373	36	41.070	42.030	123.625	130.686	58.740
59	352.860	854.538	1.207.398	41	41.762	45.298	113.525	188.561	99.909
57	260.000	1.256.386	1.516.386	43	51.925	59.280	140.033	117.721	111.504
53	332.651	1.628.663	1.961.314	47	56.273	73.690	181.607	156.000	122.638
50	497.831	1.784.011	2.281.842	50	64.415	87.319	214.114	181.966	169.376
51	481.127	1.863.803	2.344.930	49	94.299	79.092	213.483	163.614	178.976
50	533.776	1.947.949	2.481.725	50	105.555	85.305	207.701	156.063	187.748
50	677.793	1 881.100	2.558.893	50	118.105	81.071	285.347	185.022	180.922
49	882.340	2.105.504	2.778.131	51	117.646	90.879	226.311	222.202	190.611
56,7	5.599.218	15.223.749	20.822.967	43,3	814.350	751.034	2.131.501	2.090.988	1.477.143
?	1.029.168	2.114.766	3.143.934	?	121.683	83.935	238.016	265.856	188.039
?	6.628.386	17.338.515	23.966.901	?	936.033	834.969	2.356.844	2.356,844	1.665.182

(***) Voir la traduction graphique de ce tableau Pl. VIII, *fig.* 6.

ANNEXE N° 3

NOTE SUR LE TRANSPORT ET LA PRÉPARATION DES LIGNITES.

Je me propose, dans cette note, de rechercher, d'une manière au moins approximative, les conditions dans lesquelles le transport ou la préparation du lignite peuvent être avantageux. On pourrait d'ailleurs appliquer le raisonnement qui va suivre à un combustible quelconque.

La valeur relative d'un combustible dépend d'éléments très variés : ce sont surtout le pouvoir calorifique, la teneur en eau, la proportion et la nature des cendres, la manière de se comporter au feu, et enfin la friabilité. Toutes choses égales d'ailleurs, pour des lignites de même nature, la valeur dépend de la grosseur des fragments. Les différentes catégories fournies par le triage ont par suite des valeurs très différentes.

a. *Transport.* — Pour simplifier la question, je supposerai, bien que ce ne soit pas tout à fait exact, que dans toute l'étendue du marché les frais de transport seuls modifient la valeur du lignite gros, établie sur le lieu de production.

Il est facile, dès lors, de voir que l'exploitant a intérêt à ne transporter sur les marchés éloignés que cette dernière catégorie de charbons. Appelons en effet :

- t, le tarif kilométrique de transport d'une tonne de combustible; ce tarif étant supposé constant;
- P, la valeur du lignite gros sur le carreau de la mine;
- p, la valeur d'une des catégories inférieures dans les mêmes conditions.

D'après ce que j'ai dit plus haut, la valeur relative de cette dernière sorte par rapport au charbon gros sera la même sur tous les marchés et égale à $\frac{p}{P}$.

A une distance D, le lignite gros vaut : $P + Dt$ et par suite la qualité inférieure se vendra :

$$\frac{p}{P}(P + Dt) = p + \frac{p}{P}Dt.$$

Or cette dernière, supportant les mêmes frais de transport Dt, devrait se vendre : $p + Dt$.

Il y aurait donc, par le seul fait du transport, une perte pour l'exploitant :

$$\pi = Dt - \frac{p}{P} Dt = Dt\left(1 - \frac{p}{P}\right).$$

Cette perte, proportionnelle au prix du transport, pourrait atteindre et même dépasser la valeur du combustible sur le carreau de la mine, à partir d'une distance minimum D_1, déterminée par la relation :

$$D_1 t\left(1 - \frac{p}{P}\right) \geq p,$$

d'où :

$$D_1 \geq \frac{1}{t}\left(\frac{1}{\frac{1}{p} - \frac{1}{P}}\right),$$

distance qui serait d'autant plus faible :

1° Que t serait plus grand, c'est-à-dire que le transport serait plus coûteux ;

2° Que p serait plus petit, c'est-à-dire que la catégorie transportée se rapprocherait davantage du menu.

Pour $p = 0$, on a : $\pi = Dt$; $D_1 = 0$.
Pour $p = P$, on a : $\pi = 0$; $D_1 = \infty$.

Ce qui veut dire que dans le premier cas il y a, quelle que soit la distance, une perte égale à la totalité du prix de transport, ce qui est évident *à priori*, tandis que dans le second il n'y a jamais perte, quelque grande que soit la distance, ce qui était non moins évident, étant donnée l'hypothèse faite au début.

Il en résulte que les menus sans valeur sur le carreau même de la mine, comme je l'ai indiqué précédemment, ne doivent jamais être expédiés. Le lignite gros, au contraire, pourrait se transporter sur les marchés les plus éloignés, s'il n'était arrêté, à partir d'un certain rayon, par la concurrence de combustibles d'autres provenances.

b. *Préparation.* — Les conditions économiques qui président à la préparation sont à peu près analogues. La préparation a pour effet particulier, soit d'accroître la valeur des produits sans chan-

ger notablement leur poids, comme dans le cas de l'agglomération, et cela en augmentant la grosseur et la solidité des fragments, soit de condenser les éléments utiles sous un poids plus petit et par suite de diminuer proportionnellement les frais de transport, comme cela a lieu dans la carbonisation.

J'étudierai la question dans le cas le plus général, c'est-à-dire en supposant qu'il y ait à la fois augmentation de la valeur et diminution du poids.

Soient :

P, la valeur de la tonne de lignite gros sur le carreau de la mine;

p, la valeur d'une tonne du lignite cru à préparer ;

m, le rendement en poids de la préparation (une tonne de charbon cru donnant m tonnes de combustible préparé);

k, l'accroissement proportionnel de valeur du combustible préparé, relativement au lignite gros (ce qui signifie qu'une tonne de combustible préparé vaut P $(1 + k)$ sur le carreau de la mine) ;

b, les frais de préparation par tonne de combustible cru.

Au point de vue de la vente sur place, la préparation ne sera avantageuse que si l'augmentation de valeur est supérieure aux frais de préparation ; c'est-à-dire si l'on a :

$$m\,P(1+k) - p \geq b.$$

le bénéfice π de cette opération étant représenté par la différence :

$$\pi = m\,(1+k)\,P - b - p \qquad (1)$$

Prenons un exemple et supposons qu'il s'agisse de l'agglomération de menus sans valeur, tenant 20 p. 100 d'eau. La dessiccation leur en fera perdre au maximum 15 p. 100, et en supposant une addition de brai de 7 p. 100, le rendement m de la préparation sera de 0,92.

Les frais de dessiccation et de fabrication peuvent être fixés à 3 francs par tonne de combustible brut. La dépense de brai, calculée à raison de 6 francs la tonne, sera de 0f,42 et, par suite b sera égal à 3f,42.

A défaut d'appréciation plus exacte, nous pouvons admettre pour les agglomérés une augmentation de valeur en rapport avec la diminution de la teneur en eau, ce qui donne :

$$1 + k = \frac{100}{85},$$

d'où :

$$k = 0,18.$$

Enfin supposons à P sa valeur moyenne de 5 francs, p étant égal à 0, la formule précédente donne 2 francs pour le bénéfice de l'opération.

La préparation en vue de la vente sur place serait donc avantageuse pour les charbons des dernières catégories jusqu'à la petite gaillette exclusivement, dont le prix de vente sur le carreau de la mine est d'environ 3 francs la tonne.

A fortiori, il n'y aurait pas lieu à préparation pour les sortes supérieures.

Mais les conditions changent un peu quand on s'adresse aux marchés éloignés, pour lesquels la préparation équivaut à une réduction du prix du transport.

A une distance D, la tonne de lignite gros vaut : $P + Dt$, et par suite la tonne de combustible préparé :

$$(1 + k)(P + Dt).$$

La préparation sera avantageuse à partir d'une distance D_1 pour laquelle l'accroissement de valeur sera supérieur aux frais de préparation augmentés du transport, c'est-à-dire à partir d'une distance pour laquelle on aura :

$$m(1 + k)(P + D_1 t) - p \geq b + mD_1 t.$$

Inégalité de laquelle on tire :

$$mk\, D_1 t \geq b + p - m(1 + k)P,$$

ou

$$mkD_1 t \geq -\pi,$$

et enfin :

$$D_1 \geq \frac{-\pi}{mkt}. \qquad (2)$$

Le bénéfice π_1 dans ces nouvelles conditions sera :

$$\pi_1 = [m(1 + k)(P + D_1 t) - p] - (b + mD_1 t)$$
$$= [m(1 + k)P - b - p] + mkD_1 t,$$

ou

$$\pi_1 = \pi + mkD_1 t \qquad (3)$$

π désignant comme précédemment le bénéfice de la préparation quand la vente a lieu sur place.

On voit par là que si π est positif, ce qui était le cas des menus et des catégories inférieures dans l'exemple précédent, la préparation sera avantageuse à toute distance, et cela d'autant plus que celle-ci sera plus grande.

Si, au contraire, π est négatif, ce qui avait lieu pour les sortes supérieures, la préparation pourra devenir avantageuse à partir d'une distance D_1 donnée par la formule précédente et qui sera d'autant plus petite :

1° Que m et k seront plus grands, c'est-à-dire que la préparation donnera un rendement plus considérable en produit de plus grande valeur ;

2° Que t sera plus grand, c'est-à-dire que les tarifs de transport seront plus élevés.

Faisons une application de ces formules à la grosse gaillette, par exemple, dont le prix de vente sur place p est d'environ 4 francs.

Nous avons d'abord, en admettant les mêmes conditions que dans l'exemple précédent :

$$m = 0,92$$
$$k = 1,18,$$

d'où :

$$\pi = 2 \text{ francs.}$$

Les tarifs kilométriques de transport oscillent actuellement, comme je l'ai montré à l'article de l'exportation, entre 0f,038 et 0f,049. Prenons pour t la valeur maximum de 0f,05.

La formule (2) donne dans ce cas :

$$D_1 = 37 \text{ kilomètres}$$

pour la distance minimum à partir de laquelle il y a avantage à transformer la grosse gaillette en agglomérés. Les formules (1) (2) et (3) permettent de calculer dans chaque cas particulier π, D_1 et π_1.

Dans la plupart des cas, les frais de transport ne sont pas calculés d'après un tarif proportionnel à la distance comme je l'ai supposé, mais sont, au contraire, établis d'après des tarifs différentiels ou des prix fermes. Mais il suffit alors pour rendre encore applicables les formules précédentes d'y remplacer le produit Dt par le prix du transport, quelle que soit d'ailleurs la manière dont il soit établi.

Je dois ajouter enfin qu'il y a lieu de n'admettre les résultats précédents qu'en tenant compte des réserves que j'ai faites touchant la concurrence des charbons étrangers. Cette circonstance peut, en effet, dans certains cas, modifier considérablement les résultats auxquels conduirait l'application des formules précédentes.

LÉGENDE DES PLANCHES.

Planche IV.

A. — Géologie.

Fig. 1. — Carte topographique et géologique du bassin a lignites de la Bohême septentrionale (composée en partie à l'aide de la carte des gisements de combustibles minéraux de l'Autriche-Hongrie, de M. J. Pechar, et complétée, pour la partie géologique, au moyen des cartes publiées par l'Institut I. R. géologique d'Autriche).

Fig. 2. — Coupe longitudinale du bassin de Saatz-Teplitz, de Dux à Seestadl, suivant la ligne TZ de la carte. (Extraite du Mémoire de M. Trunk dans l'*Œsterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen.*)

Fig. 3. — Coupe transversale du même bassin, d'Oberleitensdorf à Wteln, en passant par Brüx, suivant la ligne XY de la carte. (Extraite des documents publiés par la Société minière de Brüx à l'occasion de l'Exposition universelle de 1878.)

Planche V.

Géologie (*suite*).

Fig. 1. — Coupe schématique N.-O. — S.-E. de la Bohême septentrionale.

Fig. 2. — Coupe transversale schématique du bassin de Falkenau. (Extraite de la Note de M. D. Stur sur l'âge des lignites du nord de la Bohême.)

Fig. 3. — Coupe du sondage de Brüx.

Fig. 4. — Coupe du terrain lignitifère a Boden et a Kahr (sous-bassin de Falkenau). (Extraite de la Note de M. D. Stur.)

B. — MÉTHODES D'EXPLOITATION.

Fig. 5 et 6. — Travail d'avancement en galerie, à la mine de la Société de Brüx, à *Tschausch*, près Brüx. — Vue du front de taille et coupe longitudinale suivant l'axe de la galerie.

Fig. 7 et 8. — Coupes horizontale et verticale d'un pilier en dépilage au découvert de la mine de la Compagnie du chemin de fer de Dux à Bodenbach, à *Dux* (méthode d'exploitation à ciel ouvert) :

ab havage latéral.

Fig. 9 et 10. — Plan et coupe d'un pilier en dépilage à la mine du Domaine à *Brüx* (méthode par piliers abandonnés).

Fig. 11. — Croquis indiquant la marche générale du dépilage à la mine Britannia, à *Mariaschein* (près Teplitz).

Fig. 12 et 13. — Exploitation d'un pilier à la mine Britannia :

Première période. — Plan et coupe :

m mur de protection,

αα serrage en briques contre le mauvais air et les inondations.

Fig. 14. — *Deuxième période.* — Coupe :

m massif de protection.

Planche VI.

MÉTHODES D'EXPLOITATION (*suite*).

Fig. 1 et 2. — Exploitation d'un pilier dans le champ du puits Anna de la mine de la Société de Brüx :

1° *Période de dépilage.* — Plan et coupe :

g galerie de roulage,

m mur de protection,

abcd havage vertical ;

Fig. 3 et 4. — *Idem :*

2° *Période de dépilage.* — Plan et coupe :

A pilier d'éboulement complémentaire,

BB charbon abandonné,

P pilier de protection réservé.

Fig. 5 et 6. — Dépilage à la mine Nelson-Colliery, à *Dux :*

Enlèvement d'un pilier. — 2° *Période de travail.* — Plan et coupe :

αβγδ galerie circulaire,

ss doubles serrages en briques,

aa cheminées verticales.

Fig. 7. — Tableau indiquant la marche du dépilage à la mine de l'Union, à *Dux.*

Les carrés portant les mêmes numéros sont dépilés en même temps.

Fig. 8 et 9. — Dépilage à la mine de l'Union :
Enlèvement d'un pilier. — 2° *Période de travail.* — Plan et coupe :
B tranche supérieure,
A tranche inférieure,
σσ' serrages en briques,
p patte de soutien.

Planche VII.

C. — Installations mécaniques.

Fig. 1 et 2. — Disposition générale, en plan et élévation, de la traction mécanique installée à la mine Fortschritt, à *Dux* :
AA cylindres de la locomobile motrice,
B volant,
bb'cc' roues dentées transmettant le mouvement à la poulie motrice du câble,
C poulie motrice,
DD poulies tendeuses horizontales,
E poulie tendeuse verticale, mobile le long des glissières FF,
P puits par lequel descend le câble,
GG poulies de renvoi du câble dans le puits,
HH poulies de renvoi du câble dans le grand niveau de roulage,
I câble sans fin, en acier,
K poulie horizontale, destinée à écarter les deux brins,
LL rouleaux de support du câble,
M plaque de croisement, en fonte,
NN poulies de renvoi du câble dans une galerie latérale,
RR poulies de retour.
Fig. 3. — Section de la gorge articulée de la poulie motrice.
Fig. 4. — Tenaille d'accrochage:
δ poignée servant à maintenir la tenaille en serrage. — Elle s'engage dans les dents d'un secteur γ fixé à l'autre branche de la tenaille.
Fig. 5. — Vue d'un train attelé.
Fig. 6. — Exploitation en vallée à l'aide du câble sans fin.
Fig. 7. — Croquis représentatif du chevalement du puits n° 3 de la mine Britannia :
A machine d'extraction,
B tambour d'enroulement des câbles,
b_1 câble (brin en-dessus),
b_2 *id.* (brin en-dessous),
C molette,
DF maîtresses-poutres,

E guidonnage,
P recette supérieure du puits,
df traverse d'assemblage,
R résultante moyenne des efforts N et T, exercés sur les molettes par les câbles,
R' même force, transportée parallèlement à elle-même au point O et se décomposant en deux actions égales N' et T', détruites par la résistance des pièces D et F.

Fig. 8. — Plan des installations extérieures du puits Jules II de la mine du Domaine, à *Brüx* :

A logements d'habitation,
B direction et bureaux,
C halle des chaudières,
D machine d'extraction,
E pompes alimentaires,
F puits d'extraction,
G réservoir où arrivent les eaux de la machine d'épuisement,
H machine d'épuisement,
K compartiment réservé à la circulation dans le puits d'épuisement,
L halle de triage,
M monte-charges à vapeur, — *p* sa machine,
N crible à secousses, — *n* sa machine motrice,
O conduite principale de vapeur,
O_1 { O'_1 tuyau desservant la machine d'épuisement,
O''_1 id. le ventilateur,
O_2 { O'_2 id. la machine d'extraction,
O''_2 id. la pompe alimentaire de cette dernière,
O'''_2 id. le frein à vapeur,
O_3 { O'_3 id. la machine motrice de l'atelier de triage,
O''_3 id. la machine du monte-charge,
Q frein à vapeur,
V ventilateur.

Fig. 9 et 10. — Coupes verticales rectangulaires de l'évite-molettes du puits n° 1 de la mine Nelson-Colliery. L'anneau R, fixé au câble, est pris entre les branches B et B' d'une tenaille qu'un cône en fonte K maintient normalement rapprochées. Ce cône est lui-même retenu en place par deux petites clavettes en saillie SS. — A la partie supérieure du chevalement se trouve un cône creux A, en fonte, fixé à une forte poutre transversale P. Si par une cause quelconque, une négligence du mécanicien, par exemple, la cage est envoyée aux molettes, le cône K s'arrête et se fix dans le moule A. Les couteaux CC coupent les clavettes SS; les

deux branches de la tenaille qui, par l'effet des leviers coudés HH, ont une tendance naturelle à s'ouvrir, le font aussitôt que leurs becs *bb* ont dépassé le rebord I. Mais en même temps ceux-ci s'accrochent à ce rebord et la cage, fixée à l'anneau F, reste ainsi suspendue à la charpente pendant que le câble et l'anneau R continuent leur chemin vers la molette.

Fig. 11. — Disposition de la machine d'épuisement du puits n° 3 de la mine Britannia à *Mariuschein* (près Teplitz) :

P cylindre de la machine d'épuisement,
A bielle articulée avec la tige du piston,
B bielle d'accouplement des deux leviers coudés CC' oscillant autour des axes O et O',
TT maîtresses-tiges.

Fig. 12 à 17. — Piston à secteurs de la pompe d'épuisement du puits Anna de la mine de la Société de Brüx.

Fig. 12 et 13. — Coupe verticale et élévation du piston :

aa anneau cylindrique en fonte,
SS soupapes intérieures du piston,
b et *c* anneaux en cuivre rodés,
B pièce de fer calée sur la tige du piston au moyen de la clavette β,
dd boulons destinés à maintenir l'anneau *aa* sur la pièce B,
C pièce de cuivre calée sur la tige du piston et destinée à limiter l'ouverture des soupapes S,
ll secteurs prismatiques en bois de chêne durci.

Fig. 14 et 15. — Coupes horizontale et verticale d'un secteur :

α lame de cuir clouée d'une part dans une échancrure du secteur, et de l'autre fixée dans une cavité du cylindre *a*.
β lame de cuir destinée à assurer l'étanchéité du système lorsque les secteurs s'écartent,
γ partie arrondie pour faciliter le jeu des secteurs.

Fig. 16. — Plan du piston muni de ses secteurs articulés (vue en dessus).

On voit par cette figure que la somme des angles aigus intérieurs de tous les secteurs représente la somme constante des angles extérieurs d'un polygone régulier d'un nombre égal de côtés. Ces secteurs peuvent donc, par simple glissement, se circonscrire à un cercle de diamètre variable sans cesser d'être parfaitement en contact.

Fig. 17. — Plan de la pièce B (vue en dessous).

Planche VIII.

D. — Statistique graphique.

Fig. 1. — Diagramme figurant la production du lignite dans les deux bassins principaux du nord-ouest de la Bohême, de 1860 à 1880.

Fig. 2. — Diagramme figurant la valeur du lignite produit dans ces deux bassins, de 1860 à 1880.

Fig. 3. — Diagramme figurant le nombre d'ouvriers dans les mines de lignite des deux bassins (y compris les femmes et les enfants).

Fig. 4. — Diagramme figurant la marche de la répartition du tonnage des lignites entre les différentes voies de transport à l'intérieur du bassin, de 1860 à 1880.

Fig. 5. — Diagramme figurant les variations de la répartition de la production totale entre la consommation sur place et à l'intérieur de l'empire austro-hongrois et l'exportation par eau et par chemins de fer, de 1860 à 1880.

Fig. 6. — Diagramme figurant la consommation des lignites de Bohême dans les principaux centres : Prague, Leipzig, Dresde, Magdebourg et Berlin, de 1860 à 1880.

Nota. — Dans tous les diagrammes précédents, sauf le diagramme 6, chacune des zones a pour origine la limite supérieure de la zone précédente ; de sorte que la ligne brisée qui termine vers le haut chaque figure correspond à l'ensemble des deux bassins. Dans le diagramme 6, au contraire, toutes les courbes ont pour origine la ligne des abscisses.

Planche IX.

Statistique graphique (*suite*).

Fig. 1. — Carte figurative de la circulation et de la consommation des lignites du nord de la Bohême (extraite de la *Statistik des Böhmischen Braunkohlen-Verkehrs im Jahre* 1880). Les bandes hachées figurent la circulation du lignite. Les cercles tracés autour des grands centres de population représentent la consommation.

La largeur des bandes et le diamètre des cercles sont proportionnels à la racine carrée de la quantité de lignite transportée par chaque tronçon de ligne ou consommée dans chaque centre. — 100.000 tonnes de lignite sont représentées par une bande de $0^m,01$ de largeur ou par un cercle de ce même diamètre.

Les chiffres, inscrits sur les bandes ou latéralement, indiquent le nombre de centaines de tonnes transportées. Ceux de ces nombres qui se rapportent aux transports par eau sont distingués par la lettre E.

Fig. 2. — Diagramme figurant le prix de vente moyen de la tonne de lignite pris sur le carreau de la mine, dans les deux bassins.

Fig. 3. — Diagramme figurant le rendement annuel moyen par ouvrier dans les deux bassins.

Nota. — Dans ces deux derniers diagrammes, chacune des courbes a pour origine la ligne des abscisses.

TABLE DES MATIÈRES.

I. — PARTIE GÉOLOGIQUE ET TECHNIQUE.

II. — PARTIE ÉCONOMIQUE.

ANNEXES.

BULLETIN.

EFFETS DE LA TEMPÉRATURE SUR LA RÉSISTANCE DU FER ET DE L'ACIER.

M. Forquenot, membre de la Commission centrale des machines à vapeur, a extrait de l'*Engineering* des renseignements importants sur la résistance du fer et de l'acier à des températures élevées.

Le fer fibreux, le fer à grain fin et l'acier Bessemer ont été soumis à des essais de traction à des températures progressives de 0 à 1000 degrés.

Les trois métaux ont une allure à peu près semblable ; on ne discutera pas leurs différences, désirant seulement faire ressortir les grandes variations.

Jusqu'à 100 degrés, la résistance des trois métaux ne diminue pas, et même jusqu'à 200 degrés chez le fer à grain et l'acier, celle du fer fibreux décroissant alors de 5 p. 100. Mais à 300 degrés les résistances sont de 90 p. 100 ; à 500 degrés, 40 p. 100 ; à 700 degrés, 20 p. 100.

On avait la notion de la diminution de résistance, mais elle n'était pas exactement mesurée ; ces nombres font voir avec quelle facilité les fers surchauffés peuvent céder à des pressions ordinaires.

La note ci-dessous est la reproduction de l'article de l'*Engineering :*

« En 1877-1878, M. Kollmann a fait aux usines d'Oberhausen une série d'expériences sur la résistance à la traction du fer et de l'acier à différentes températures et sur leur résistance à la compression. Les résultats de ces expériences ont été publiés dans les *Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses*. L'*Engineering* espère qu'à la prochaine occasion il pourra donner à ses lecteurs des détails complets sur ces expériences et la manière dont elles ont été conduites; quant à présent il ne mentionne que quelques détails saillants. Ces essais ont été faits sur du fer fibreux, sur du fer présentant une cassure à grain fin et sur de

l'acier Bessemer. Chacun de ces métaux a été essayé à des températures variant de 20 à 1080 degrés centigrades (68 à 1976 degrés Fahrenheit), et, pour rendre possibles des comparaisons, les résultats des essais ont été réduits au tant pour cent de la force de chaque métal à la température de congélation de l'eau ; la résistance à cette température était représentée par 100.

« Le tableau suivant donne un sommaire de ces résultats.

TEMPÉRATURE.		FER	FER	ACIER.
Centigrade.	Fahrenheit.	fibreux.	à grain fin.	Bessemer.
degrés	degrés			
0	32	100	100	100
100	212	100	100	100
200	392	95	100	100
300	572	90	97	94
500	932	38	44	34
700	1.292	16	23	18
900	1.652	6	12	9
1.000	1.832	4	7	7

« On verra d'après ces résultats qu'en général, aux températures correspondant aux pressions de vapeur les plus élevées, la résistance de l'acier Bessemer et du fer à grain fin n'est pas altérée, tandis que celle du fer fibreux souffre, mais très faiblement. Au-dessus de 205 degrés centigrades (400 degrés Fahr. environ) l'acier Bessemer paraît perdre de la résistance moins rapidement que le fer fibreux, et le fer à grain fin moins que l'acier, bien qu'à la température de 500 degrés centigrades la perte de résistance soit plus grande pour le Bessemer que pour les deux autres métaux. Cependant ce résultat exceptionnel paraît provenir d'une erreur expérimentale. Une remarque plus importante résultant de ces expériences est qu'entre 315 et 538 degrés centigrades (600 et 1000 degrés Fahr.) une perte de force plus rapide et plus considérable se produit dans tous les métaux essayés, *fait qui indique fortement le danger de surchauffer les tôles de chaudières.* L'*Engineering* reviendra sur ce sujet quand il connaîtra le détail des expériences de M. Kollmann. »

(*Extrait par* M. Forquenot, *ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie d'Orléans*, de l'Engineering *du* 30 *juillet* 1880.)

L'INDUSTRIE SIDÉRURGIQUE AUX ÉTATS-UNIS EN 1880.

M. James Swank, secrétaire de l'*American Iron and Steel Association*, chargé spécialement de l'industrie sidérurgique, à l'occasion du recensement décennal qui a été fait en 1880 aux États-Unis, a adressé au directeur général du recensement un rapport qui contient les renseignements suivants :

Nombre des usines possédant des hauts-fourneaux	490
— des hauts-fourneaux	681
— des usines possédant des laminoirs	324
— des fours à puddler	4.319
— — rotatifs (Seller)	1
— — système Danks	19
— des fours à réchauffer	2.105
— des aciéries	73
— des convertisseurs Bessemer	24
— des fours à coke pour la fusion de l'acier	37
— des forges	118
— des feux d'affinerie	495
— des fours rotatifs (système Siemens)	1

	tonnes (*).
Puissance de production, par jour, des hauts-fourneaux	19.248
— — des laminoirs	16.430
— — des convertisseurs Bessemer	4.467
— — des fours à sole pour acier	827
— — des fabriques d'acier fondu au creuset	445
— — des forges	520

Le capital engagé dans l'industrie sidérurgique s'élevait en 1880 à 230.971.884 dollars ou à environ 1.233 millions de francs.

La production sidérurgique a été la suivante pendant les années des deux derniers recensements (**) :

	1870	1880
	tonnes.	tonnes.
Fontes	2.052.821	3.781.021
Fers laminés de toute espèce	1.441.829	2.353.248
Produits en acier Bessemer	19.403	889.896
— fondu sur sole	»	93.143
— fondu au creuset	28.069	70.319
Acier cémenté et autres aciers	2 285	4.956
Fers martelés	110.808	72.557
Totaux	3.655.215	7.265.140

(*) L'unité de poids est la tonne de 907 kilog. ou *net ton*.

(**) L'année est comptée du 1er juin au 31 mai ; ainsi 1880 signifie en fait l'année du 1er juin 1879 au 31 mai 1880.

La production sidérurgique totale a donc augmenté, pendant la période décennale 1870-1880, de 369.925 tonnes ou de 98,76 p. 100.

La production de la fonte en 1880 se décompose comme suit :

	tonnes.
Fonte au bois et à l'air froid	79.613
— au bois et à l'air chaud	355 405
— à l'anthracite	1.112.735
— à la houille et au coke	1.515.107
— au mélange de coke et d'anthracite	713.932
Moulages en première fusion	4.229

La production de spiegeleisen a été de 12.875 tonnes.

La production des fers laminés se décompose de la manière suivante :

	1870 tonnes.	1880 tonnes.
Fers en barres	488.834	663.211
Fers ronds	26.087	145.626
Tôles	284.702	437.139
Larges-plats	74.753	94.992
Rails	531.605	466.917
Fer martelé	2.217	128.321
Autres produits	33.631	417.042
Totaux	1.441.829	2.353.248

Sous la rubrique « autres produits » sont compris les fers pour la construction, essieux laminés, essieux forgés, pièces de forge, fers à ruban, éclisses et fers laminés divers, tire-fonds pour voies de chemins de fer, fils de fer, fers à cheval, rivets, etc.

Les quantités des divers produits en acier Bessemer et en acier fondu sur sole ont été les suivantes en 1880 :

	Acier Bessemer. tonnes.	Acier fondu sur sole. tonnes.
Rails	741.475	9.105
Barres	76.710	43.296
Ronds	49.064	1.134
Larges-plats	»	1.700
Tôles	1.475	11.034
Autres produits	20.615	26.874
Totaux	889.896	93.143

Les aciéries ont produit, en 1880, 985.208 tonnes de lingots d'acier Bessemer et 84.302 tonnes d'acier fondu sur sole.

Aux documents statistiques qui précèdent il convient d'ajouter les renseignements suivants, extraits du *Bulletin of the American Iron and Steel Association :*

La production des rails de toutes sortes aux États-Unis, en 1880 (*), a surpassé de beaucoup la production de toutes les années précédentes : elle a atteint le chiffre de 1.461.837 tonnes, qui est de 31 p. 100 plus élevé que celui de 1879, année où la production avait déjà dépassé toutes les précédentes.

Ce chiffre se décompose comme suit :

		Augmentation par rapport à 1879	
		totale.	p. 100.
	tonnes.	tonnes.	
Rails en acier Bessemer.	951.460	270.496	40
— en fer	493.762	73.602	10
— en acier fondu sur sole.	13.615	4.466	49
Totaux.	1.461 837	348 564	31

Le chiffre de la production des rails Bessemer contient 36.868 tonnes de rails provenant de lingots importés en grande partie et laminés par des laminoirs à fer.

Dans le chiffre total sont compris les rails de tramways, pour 16.894 tonnes, dont 8.055 tonnes en acier Bessemer et en acier fondu sur sole, et le reste en fer.

La production des rails, si considérable qu'elle ait été en 1880, sera encore plus grande en 1881. De nouvelles usines qui se proposent de fabriquer des rails vont bientôt être mises en marche, et les anciennes aciéries Bessemer s'efforcent presque toutes d'accroître leurs moyens de production. Jusqu'ici d'ailleurs la production indigène des rails a été d'ailleurs inférieure à la consommation.

(*Extrait du* Bulletin du Comité des forges de France, *numéro de mai* 1881.)

NOTICE SUR L'ÉCOLE DES MINES D'OURO-PRETO (BRÉSIL)

Par M. DAUBRÉE.

Le but de l'École des mines d'Ouro-Preto est de former des ingénieurs pour l'exploitation des mines et pour la métallurgie. La création de cette école a été votée en 1832 ; cette loi, oubliée

(*) Les chiffres de l'*American Iron and Steel Association* se rapportent à l'année ordinaire, du 1er janvier au 31 décembre 1880.

pendant plusieurs années, a été finalement mise à exécution par un décret du 6 novembre 1875.

La ville d'Ouro-Preto, capitale de la province de Minas-Geraës, a été choisie pour l'emplacement de cette école, dont l'inauguration a eu lieu le 12 octobre 1876.

A l'origine, les cours se divisaient seulement en deux années d'études, et n'étaient fréquentés que par les jeunes gens qui avaient suivi le cours général de l'École polytechnique, ou qui étaient en état de subir avec succès certaines épreuves spéciales. Par un décret du 12 septembre 1877, un cours préparatoire a été annexé à l'école dans le but de compléter l'instruction des jeunes gens qui veulent être admis à cette école. Ce cours préparatoire, qui se composait d'abord d'une seule année d'études, a été étendu à deux années par un décret du 14 février 1880. De cette manière les élèves sortis des cours préparatoires ne s'occupent, dans les deux années du cours supérieur, que des matières qui se lient le plus intimement aux cours d'exploitation des mines et de métallurgie. Ce même décret a apporté d'autres améliorations dans l'organisation de l'École des mines.

Les études de l'École sont aujourd'hui constituées de la manière suivante :

COURS SUPÉRIEUR.

Première année. Physique, chimie, minéralogie, exploitation des mines, mécanique rationnelle, géométrie descriptive, géométrie analytique, topographie superficielle et souterraine, nivellement.

Deuxième année. Géologie, docimasie, métallurgie, mécanique appliquée, stéréotomie.

COURS PRÉPARATOIRE.

Première année. Arithmétique élémentaire; algèbre élémentaire comprenant la résolution des équations du deuxième degré et bicarrées et des questions de maxima et minima dont la solution dépend de ces équations, progressions, théorie élémentaire des logarithmes; géométrie élémentaire; notions de trigonométrie, jusqu'aux applications et à la résolution des triangles.

Deuxième année. Première chaire. — Complément d'algèbre, théorie des logarithmes, binôme de Newton, calcul des dérivées; géométrie analytique à deux dimensions, ligne droite, et courbes du deuxième degré; géométrie descriptive, ligne droite et plan,

intersection des solides, et épures correspondantes; trigonométrie rectiligne complète.

Deuxième chaire. — Physique élémentaire, chimie élémentaire des métalloïdes ; notions de botanique et de zoologie.

Le directeur de l'École est M. H. Gorceix, en même temps professeur de physique, chimie, minéralogie et de géologie.

MM. Bovet et Thiré, tous deux anciens élèves de l'École polytechnique et de l'École des mines de Paris, sont professeurs dans les cours supérieurs, le premier d'exploitation des mines et de métallurgie, de docimasie et de stéréotomie ; le second de mathématique, de mécanique rationnelle, et de mécanique appliquée et de topographie.

Des exercices pratiques complètent l'enseignement chimique.

L'École possède une bibliothèque, des collections minéralogiques et paléontologiques, une collection de modèles métallurgiques, un cabinet de physique et un laboratoire de chimie, dans lequel, outre les manipulations annexes des cours, on analyse les échantillons de minéraux et minerais envoyés des divers points de l'empire par des particuliers.

L'École d'Ouro-Preto compte actuellement 53 élèves inscrits; elle a déjà donné le diplôme à huit ingénieurs, dont les uns dirigent des entreprises particulières et les autres font partie du corps enseignant de l'École.

L'assemblée législative de la province de Minas-Geraës, pour reconnaître les services déjà rendus au pays par l'École, vient d'y créer deux bourses, d'une valeur de 150 francs par mois, pour des élèves sans fortune ayant prouvé leur aptitude et leur application au travail : la subvention doit être retirée à celui qui serait refusé à l'un de ses examens. Elle a en outre voté, à la fin de de l'année 1880, une somme de 10.000 francs pour contribuer aux études et aux explorations minéralogiques que doivent faire les élèvesdans leurs excursions à travers la province.

La création d'une Revue périodique, destinée à traiter les questions qui intéressent l'industrie des mines au Brésil, a paru le complément naturel et nécessaire de l'organisation de l'École d'Ouro-Preto.

Cette Revue, qui porte le titre de *Annales de l'École des mines d'Ouro-Preto* (*), est publiée en langue portugaise à Rio-Janeiro. Le premier volume, qui vient de paraître, contient plusieurs

(*) *Annaes da Escola de Minas de Ouro-Preto.*

travaux intéressants : d'abord une étude chimique et géologique, faite par M. Gorceix, des *roches du centre de la province de Minas-Geraës*, et particulièrement des environs d'Ouro-Preto ; l'auteur a exécuté une série d'analyses qui montrent que la plupart des roches considérées comme talcschistes sont des schistes micacés où domine souvent la fuchsite.

Un second mémoire de M. Gorceix concerne l'étude géologique des *gîtes de topazes de la province de Minas-Geraës*. Après avoir décrit en détail les célèbres gîtes de topazes et euclases des environs d'Ouro-Preto, M. Gorceix constate qu'elles occupent une fente au milieu des schistes micacés de la région, fente qui est en rapport avec une des principales dislocations la province de Minas-Geraës. Quant à leur mode de formation, l'auteur adopte l'idée antérieurement émise que des composés fluorés et borés, aidés de la vapeur d'eau, ont servi d'agents minéralisateurs dans la formation des gîtes de topazes, de même que pour la production des gîtes d'oxyde d'étain et d'oxyde de titane.

M. Gorceix signale l'existence du platine en pépites dans le *cascalho* diamantifère du Serro, ville située à 10 kilomètres au sud de Diamantina. Dans la même région, il a reconnu l'existence de roches serpentineuses remarquables, ainsi que de schistes dans lesquels la proportion de chrome atteint 3 p. 100 ; ce sont des analogies avec les gisements de platine de l'Oural.

Il convient de signaler en outre : une étude *sur l'exploitation des mines de galène du Ribeirao de Chumbo*, par M. F. de Paula Oliveira, ingénieur des mines ; le compte rendu d'un *voyage d'études métallurgiques au centre de la province de Minas*, par M. J. C. da Costa Serra, ingénieur des mines ; des *analyses exécutées au laboratoire de l'École*, et enfin une *statistique de la production de l'or dans la province de Minas-Geraës en* 1879.

ANNALES DES CONSTRUCTIONS CIVILES ET DES MINES DU PÉROU.

L'École des constructions civiles et des mines de Lima commence la publication, sous ce titre, d'un recueil périodique dont le tome I a paru en 1880. Ce volume contient plusieurs articles intéressants qu'il paraît utile de signaler :

1° *Étude sur le magistrat employé dans le traitement des mi-*

nerais d'argent, par la méthode américaine, par *M. A. Raimondi*.

Après avoir étudié les réactions des sels de fer sur les combinaisons oxydées de cuivre, ainsi que les conditions de la fabrication du magistral au Pérou, l'auteur entreprend la théorie des réactions produites par le magistral dans le patio. Ses idées sont en grande partie celles de MM. Malaguti et Durocher sur la question (*).

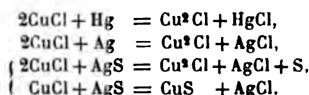
Voici sommairement les réactions principales qui auraient lieu :

1° Après l'addition du sel marin, on fait intervenir le magistral, en grande partie composé de sulfate de cuivre ; il se produit la réaction suivante :



$$CuO.SO^3 + NaCl = CuCl + NaO.SO^3.$$

2° Le chlorure de cuivre formé réagit sur le mercure et sur l'argent, soit métallique, soit sulfuré :



$$2CuCl + Hg = Cu^2Cl + HgCl,$$
$$2CuCl + Ag = Cu^2Cl + AgCl,$$
$$\begin{cases} 2CuCl + AgS = Cu^2Cl + AgCl + S, \\ CuCl + AgS = CuS + AgCl. \end{cases}$$

L'action du bichlorure de cuivre sur le mercure est plus rapide que sur l'argent ; les réactions sur l'argent sont plus ou moins intenses, suivant l'état chimique de ce métal, et suivant la proportion du chlorure de cuivre.

La présence du sel marin n'est pas indispensable aux actions du chlorure sur les composés argentifères, mais elle paraît les faciliter.

Le perchlorure de fer peut jouer le même rôle que le chlorure de cuivre, mais avec moins d'efficacité.

2° *État actuel de l'industrie minérale dans le Cerro de Pasco* ; par M. Maurice du Chatenet. Ce mémoire ayant été traduit pour les *Annales des mines*, nous ne pouvons que renvoyer à l'article publié dans le présent recueil (**).

3° *Notes sur les mines de Salpo, Quiruvilca et Huamachuco, dans le département de Libertad* ; par M. Delsol, professeur à l'École. (Relation d'un voyage d'études, fait par les élèves de l'École sous la conduite de leur professeur.)

Salpo. — Filons généralement verticaux, dirigés N. O.—S. E.

(*) *Annales des mines*, 4e série, tome XVII.

(**) Voir *suprà*, p. 61

Le minerai est le *paco* avec sulfures d'abord aurifères, puis argentifères, en profondeur, il se change en galène argentifère dans la syénite rendant de 10 à 80 marcs d'argent par caisse, en moyenne 8 marcs.

Quiruvilca. — Veines et filons dans des arènes verdâtres, se changeant en argile sur plusieurs points.

Minerais : 1° à la surface, *pacos*, jusqu'à 20 mètres environ ; 2° *bronzes ;* 3° mélange de *bronzes* et de *pavonados*, puis *pavonados*. On rencontre aussi du sulfure de cuivre bleu, de la blende, de la galène, de la bournonite. La gangue se compose de quartz, de sulfate de baryte, et de *panizo*, c'est-à-dire d'une sorte d'argile blanche qui se rencontre dans tout le district.

Les minerais sont assez riches, certains types contiennent 1 p. 100 d'or. La teneur moyenne en argent est de 15 marcs par caisse.

Huamachuco. — Pacos, bronzes et pavonados aurifères, dans les quarzites, contenant jusqu'à 400 marcs de métal précieux par caisse en certains points.

L'exploitation est fort imparfaite en général.

Le traitement métallurgique se fait de trois manières : 1° au patio, avec minerai cru ; 2° au patio, avec minerai grillé ; 3° méthode américaine, rappelant les anciens procédés de Freiberg.

L'amalgamation, au lieu de se faire dans des tonneaux tournants, a lieu dans des caisses, où la matière est agitée par des palettes en fer, fixées en hélice sur un arbre horizontal.

Le mémoire contient des considérations économiques sur la situation des districts, et une note sur les combustibles de Huamachuco.

4° Le Pérou à l'Exposition universelle de 1878, par M. H. Martinet, docteur ès sciences de la Faculté de Paris, membre du jury à l'Exposition.

Le mémoire contient l'historique des démarches faites auprès du gouvernement péruvien, pour activer et stimuler les exposants, le récit des difficultés survenues. Il signale l'insuffisance des envois, faits dans de fort mauvaises conditions. M. Martinet s'occupe surtout de l'agriculture, qui dans l'avenir peut devenir des plus prospères, si l'on favorise l'émigration.

En ce qui concerne l'industrie minéralogique il faut signaler :

La collection des minéraux du Pérou, avec catalogue, exposée par M. Raimondi.

Les anthracites de la province de Otuzco et de Huamachuco.

Les houilles du département de Libertad, en quelque sorte spéciales à la côte du Pérou. Ce sont des dépôts post carbonifères

(passage du trias au jurassique). La composition moyenne est la suivante :

Eau et matières volatiles	9,50
Cendres	8,50
Carbone	82,00
	100,00

Les cendres sont peu ou pas pyriteuses.

Les houilles grasses de Arequipa, Moquegua, Junin.

La tourbe, le combustible animal du Cerro de Pasco.

Les asphaltes et les pétroles de la côte septentrionale du Pérou.

L'État n'a pas signalé à l'Exposition les chemins de fer du Pérou, qui présentent un développement de 2.200 kilomètres, dont la construction a coûté 132 millions de *soles* en espèces.

De plus, 590 kilomètres appartenant à des entreprises particulières. C'est au Pérou que se trouve la voie qui traverse les Andes 16.000 pieds d'élévation au-dessus du niveau de la mer.

5° *Appendice au catalogue raisonné des minéraux du Pérou* de M. Raimondi.

Krœnkite (sulfate de cuivre et de soude).

Minéral découvert en 1874 en Bolivie, par M. Haefliger, analysé par M. Krönke. Il a pour formule $CuO.SO^3 + NaO.SO^3 + 2HO$, cristallise dans le système triclinique ; son analyse, faite par M. Domeyko, a donné :

Oxyde de cuivre	23,20
Soude	18,04
Acide sulfurique	46,56
Alumine	0,22
Sous-sulfate de cuivre (séparé par ébullition)	0,90
Eau (par différence)	11,08
	100,00

Dernièrement ce minéral a été trouvé au Pérou, ainsi que le *sideronatron* (sulfate double de peroxyde de fer et de soude), à Tarapaca ; échantillon amorphe, verdâtre ; la dissolution dans l'eau froide dépose par ébullition du sulfate basique de cuivre.

Pisanite : sulfate de cuivre et de protoxyde de fer.

Pickeringite cuprifère : sulfate d'alumine et de magnésie avec cuivre à l'état de sulfate.

Taylorite : sulfate de potasse et d'ammoniaque, trouvé dans le dépôt de guano de Chanavaga.

6° *Notes sur le laboratoire de docimasie de l'École*, par le directeur du laboratoire, M. Pedro Remy.

Le laboratoire a été installé sous la direction de M. du Chatenet. L'article comprend les résultats de diverses analyses qu'il ne paraît pas nécessaire de reproduire ici.

[*Extrait par* M. Nariño, *élève étranger de l'École des mines, du tome I des* Anales de construcciones civiles y de minas del Peru (Lima, 1880)].

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DIX-NEUVIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DIX-NEUVIÈME.

Pl. I et II, *fig.* 1 à 4. — Mesure des hautes pressions et machines à essayer les métaux.

Pl. II. *fig.* 5 à 12. — Soupapes de sûreté de M. Adams, de M. Ashcroft et de la Compagnie d'Orléans.

Pl. III. — Études sur les propriétés optiques des mélanges cristallins de substances isomorphes et sur l'explication de la polarisation rotatoire.

Pl. IV à IX. — Lignites du Nord de la Bohême.

Pl. IV et V, *fig.* 1 à 4. — Géologie.
Pl. V, *fig.* 5 à 14, et Pl. VI. — Méthodes d'exploitation.
Pl. VII. — Installations.
Pl. VIII et IX. — Statistique graphique.

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1881

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

ANDRÉ (C.). — Observation du passage de Mercure sur le soleil faite à Ogden (Utah) le 6 mai 1878. Discours de réception à l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon, prononcé le 27 juillet 1880, par M. C. André, directeur de l'Observatoire. Grand in-8°, 21 p. (2200)

COLLIGNON (E.). — Traité de mécanique ; par Édouard Collignon. Deuxième partie : Statique. 2e *édition*. In-8°, 650 p. Libr. Hachette et Ce. 7f,50. (3429)

JULLIEN (A.) et P. LEYSSENNE. — Le Baccalauréat ès sciences (transformation des Cahiers du baccalauréat d'A. Jullien); ouvrage servant de complément à tous les cours préparatoires au baccalauréat ès sciences, etc.; par A. Jullien et P. Leyssenne, professeurs. 4 vol. In-12. Algèbre, 120 p. avec fig.; Trigonométrie, 100 p. avec fig.; Géométrie plane, 116 p. avec fig.; Géométrie descriptive, mécanique, cosmographie, 108 p. avec fig. (2292)

LAISANT (C. A.). — Introduction à la méthode des quaternions ; par C. A. Laisant, député, docteur ès sciences. In-8°, XXII-242 p. 6 fr. (1752)

LAURENT (H.). — Traité d'algèbre à l'usage des candidats aux écoles du gouvernement ; par H. Laurent, répétiteur d'analyse à l'École polytechnique. Première partie, à l'usage des classes de mathématiques élémentaires. In-8°, XX-227 p. 4 fr. (4232)

LEBON (E.). — Traité de géométrie descriptive pour l'enseignement secondaire classique ; par Ernest Lebon, professeur de mathématiques. Supplément au premier volume à l'usage des candidats à l'école spéciale militaire de Saint-Cyr. In-8°, 156 p. avec 90 fig. et 1 pl. (4612)

LEIBNIZ. — La Monadologie de Leibniz, avec introduction, analyse développée, notes et commentaires pur M. Th. Desdouits. 1f,25. (2733)

—— La Monadologie; par Leibniz. Publiée d'après les manuscrits et accompagnée d'éclaircissements par Émile Boutroux, maître de conférences à l'École normale supérieure; suivie d'une note sur les principes de la mécanique dans Descartes et dans Leibniz, par Henri Poincaré, ingénieur des mines. In-18 jésus. (1477)

LEYSSENNE (P.) et E. BOUSQUET. — Exercices et problèmes d'arithmétique de première année, empruntés à la vie pratique, au commerce, à l'industrie, à l'agriculture, composés ou recueillis par MM. P. Leyssenne et E. Bousquet. (4238)

PICHOT (J.). — Cosmographie élémentaire (programmes du 2 août 1880) pour l'enseignement de la cosmographie dans les classes de rhétorique et de philosophie; par J. Pichot, censeur du lycée Fontanes. 2f,50. (2797)

TREMESCHINI. — Enseignement pratique de la cosmographie dans toutes les écoles de France. Géosélénographe de l'ingénieur Tremeschini, de la Société météorologique de France. In-8°, 22 p. avec fig. (3351)

2° *Chimie. — Physique.*

ADAM (A.). — Instruction pour le dosage pondéral et volumétrique du beurre dans le lait et pour l'analyse complète de ce liquide au moyen du galactotimètre du docteur Amand Adam, pharmacien de l'hôpital Beaujon. In-8°, 15 p. (Extr. du *Journal de pharmacie et de chimie*, 1881.) (1596)

ALLARD (E.). — Mémoire sur les phares électriques, comprenant le programme de l'éclairage électrique des côtes de France, complété par des signaux sonores à vapeur; par M. E. Allard, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du service des phares et balises. In-4°, XIV-87 p. et 8 pl. (4687)

ANGOT (A.). — Éléments de physique (programmes officiels du 2 août 1880) pour l'enseignement de la physique dans les classes de troisième; par Alfred Angot, agrégé de l'Université, docteur ès sciences. In-12, 236 p. avec 154 fig. 2 fr. (4518)

ARMENGAUD (J.). — Installation et exploitation des lignes téléphoniques, réseau de Paris; par M. Jules Armengaud jeune, ingénieur-conseil. In-8°, 17 p. (5655)

BALLING. — Manuel pratique de l'art de l'essayeur, guide pour l'essai des minerais, des produits métallurgiques et des combustibles; par Balling, professeur de docimasie et de métallurgie à

l'Académie des mines de Przibram, traduit de l'allemand par le docteur L. Gautier. In-8°. (712)

Barlet. — Les Procédés et les Appareils de chauffage et d'éclairage à l'Exposition universelle internationale de 1878 à Paris ; par M. Barlet, ingénieur. In-8°, 87 p. (Rapports du jury international.) (1623)

Blavier (E. E.). — Des grandeurs électriques et de leur mesure en unités absolues ; par E. E. Blavier, directeur de l'École supérieure de télégraphie. In-8°, 592 p. avec fig. (4349)

Bor (A.). — La Chimie perverse, sa défense ; discours prononcé à la rentrée solennelle de l'école préparatoire de médecine et de pharmacie d'Amiens, le 11 novembre 1880, par M. Albert Bor, professeur de pharmacie et de matière médicale à ladite école. In-16, 28 p. (5998)

Bouley (H.). — Rapport sur les travaux de M. Pasteur ; par M. H. Bouley de l'Institut. In-8°, 24 p. (4544)

Boyer (F.). — Théories chimiques. Lecture faite en séance publique de l'Académie de Nîmes, le 24 mai 1879, par M. Félix Boyer. In-8°, 23 p. (2215)

Coulon (R.). — Notes sur quelques effets lumineux des courants d'induction, lues à la Sorbonne au congrès des sociétés savantes des départements, 1880 ; par M. Raimon Coulon, électricien. In-8°, 28 p. avec fig. (3730)

Duvillier (E.) et A. Buisine. — Sur la séparation des ammoniaques composées ; par M. E. Duvillier, maître de conférences de chimie à la Faculté des sciences de Lille, et M. A. Buisine, préparateur de chimie à la Faculté des sciences de Lille. In-8°, 28 p. avec figures. (Extr. des Mémoires de la Société des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille.) (2253)

Duvillier (E.). — Sur les acides amidés de l'acide isooxyvalérique ; par M. E. Duvillier. In-8°, 18 p. (Extr. de la même publication.) (2254)

—— Sur les acides amidés de l'acide α-oxybutyrique ; par M. E. Duvillier, préparateur de chimie à la Faculté des sciences de Lille. 23 p. (Extr. de la même publication.) (3452)

Eyssautier (C.). — Des sels d'hématine, étude de chimie biologique avec application à la médecine légale ; par Charles Eyssautier, docteur en médecine. In-8°, 62 p. (568)

Girardin (J.). — Chimie générale et appliquée ; par M. J. Girardin, directeur de l'École préparatoire à l'enseignement supérieur des sciences et des lettres de Rouen. Première année. 2ᵉ *édition*, entièrement revue. In-8°, 123 p. avec 97 fig. (2983)

—— Chimie générale et appliquée ; par M. J. Girardin, directeur de

l'École préparatoire à l'enseignement supérieur des sciences et des lettres de Rouen. Deuxième année. Les Métalloïdes et les Métaux. 2e *édition*, entièrement revue. In-8°, 304 p. avec 203 fig. (1431)

KASTUS (C.). — Deuxième mémoire. Constatation analytique de nouveaux éléments chimiques dans l'eau sulfureuse d'Allevard (Isère); par C. Kastus, médecin consultant à Allevard. In-8°, 26 p. (5767)

LUNGE (G.) et J. NAVILLE.— La Grande Industrie chimique, traité de la fabrication de la soude et de ses branches collatérales. *Édition* française par G. Lunge, professeur de chimie industrielle à l'École polytechnique de Zurich, et J. Naville, manufacturier. T. III : Sels de soude; Chlorure de chaux ; Chlorate de potasse; Devis et statistique; Notes et additions. In-8°, 465 p. avec 3 pl. et 217 fig. (1774)

MANGIN (A.) — Le Feu du ciel; histoire de l'électricité et de ses principales applications; par Arthur Mangin. In-8°, 240 p. et grav. (4245)

MARIUS (G.). — La Galvanoplastie électro-chimique sur métaux, ou l'art de dorer ou argenter soi-même par l'électricité ; Guide pratique des familles; par G. Marius, doreur et argenteur sur métaux. In-8°, 39 p. (3539)

MOLLINS (J. de). — Mémoire sur la fabrication de la diphénylamine; par Jean de Mollins, docteur ès sciences de Zurich. In-8°, 36 p. (4907)

MOLTENI (A.). — Instructions pratiques sur l'emploi des appareils de projection, lanternes magiques, polyoramas, etc., fabriqués par A. Molteni. In-12, 216 p. (2108)

PETIT (A.). — Recherches sur la pepsine; par A. Petit, président de la Société de pharmacie de Paris. In-8°, 68 p. (1821)

RAPPIN (G.). — Des bactéries de la bouche à l'état normal et dans la fièvre typhoïde; par le docteur G. Rappin. In-8°, 82 p. et 1 pl. (4941)

RAYNAUD (A.). — Destruction du phylloxéra par le sulfureuxage; par Alexandre Raynaud, vétérinaire. In-16, 29 p. (5888)

REGNAULT (J.) et VALMONT. — Étude pharmacologique sur les alcaloïdes mydriatiques; par le professeur J. Regnauld et le docteur Valmont. In-8°, 16 p. (1840)

RENARD (A.). — Coprs gras, huiles, graisses, beurres, cires; ouvrage contenant l'indication des lieux de provenance des corps gras, leurs fabrication, épuration, propriétés, etc.; par Adolphe Renard, professeur de chimie aux écoles supérieures de commerce et d'industrie de Rouen. In-8°, 148 p. 6 fr. (146)

ROBIN (É.). — Recherches sur l'influence du traitement mercuriel sur la richesse globulaire du sang, par Émile Robin. (864)

SANLAVILLE (E.). — L'Asphaline, matière explosive ou poudre de

mine remplaçant, dans les travaux des mines et carrières, la poudre noire et la dynamite sans danger possible pour le mineur; par E. Salanville, ingénieur chimiste. In-8°, 14 p. (6208)

TERNANT (A. L.). — Épreuves électriques pratiques des câbles sous-marins; par A. L. Ternant. In-8°, 52 p. avec fig. (Extr. du *Bulletin de la Société scientifique industrielle de Marseille.*) (5128)

THIBAUT (D.). — Étude sur les variations de l'urée dans l'empoisonnement phosphorique, suivie de quelques considérations sur les fonctions uropoétiques du foie; par le docteur D. Thibaut, chef des travaux chimiques à la Faculté de médecine et de pharmacie de Lille. In-8°, 24 p. (5131)

VIRLET. — Les machines Gramme. Discours de M. le colonel Virlet, président de la Société d'agriculture, etc., de la Marne, lu le 21 août 1880. In-8°, 17 p. (1096)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

BONNIER (G.). — Éléments d'histoire naturelle. Pierre et terrains; par Gaston Bonnier. In-18 jésus, VII-170 p. avec 91 fig. (5178)

BOUANT (E.). — Premiers Éléments des sciences expérimentales, suivis des éléments d'histoire naturelle des pierres et des terrains (programme de septième); par Émile Bouant, professeur au Prytanée militaire. In-12, 144 p. (5653)

BOURGUIGNAT (J. R.). — Étude sur les fossiles terriaires et quaternaire de la vallée de Cettina, en Dalmatie; par J. R. Bourguignat. In-8°, 59 pages. (5006)

—— Monographie du nouveau genre Filholia, suivi de la liste des ouvrages de mégalithologie, d'épigraphie, d'ostéologie et de paléontologie de J. R. Bourguignat. In-8°, 31 pages. (5660)

CUVIER. — Discours sur les révolutions du globe; par Cuvier. Avec des notes d'après les données les plus récentes de la science et une notice historique, par Paul Bory. In-12, XXXIX-343 pages. (6043)

DAUBRÉE. — Examen minéralogique et chimique de matériaux provenant de quelques forts vitrifiés de la France; conclusions qui en résultent; par M. Daubrée, de l'Institut, inspecteur général des mines. In-8°, 13 pages. (Extr. de la *Revue archéologique*, janvier 1881.) (3735)

DRU (L.) et MUNIER-CHALMAS. — Extrait de la mission de M. le commandant Roudaire dans les chotts tunisiens (1878-1879). I. Hydrologie, géologie et paléontologie; par Léon Dru, de la Société géologique de France. II. Paléontologie; Description des espèces nouvelles; par Munier-Chalmas, sous-directeur du labo-

ratoire des recherches géologiques de la Faculté des sciences de Paris. In-8°, 79 pages avec 5 pl. et 2 cartes. (5707)

DUFRENÉ (H.). — Étude sur l'histoire de la production et du commerce de l'étain; par Hector Dufrené, ingénieur civil. In-8°, 72 pages. 3 fr. (Extr. des *Annales du génie civil*). (1701)

FAVRE (J. H.). — Géologie, par J. H. Favre. In-18, 323 pages avec figures. (2963)

FONTANNES (F.). — Note sur la position stratigraphique du groupe pliocène de Saint-Ariès dans le bas Dauphiné septentrional et particulièrement aux environs de Hauterives (Drôme); par F. Fontannes. In-8°, 36 pages. (4200)

GAUTIER (F.). — Rapport du secrétaire du comité des Forges de France sur l'exposition de Dusseldorf et l'industrie du fer et de l'acier dans les provinces rhénanes; par F. Gautier. In-8°, 80 p. avec 3 pl. et 1 tableau. (Extr. des *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*). (1009)

HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — Rapport de M. Haton de la Goupillière, ingénieur en chef des mines, au nom de la commission d'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou. In-8°. (Extr. des *Annales des mines*.) (1018)

LEYMERIE. — Aperçu géologique des Pyrénées de l'Aude; par M. Leymerie, professeur de minéralogie et de géologie à la Faculté des sciences de Toulouse. In-8°, 69 pages et 1 planche. (Extr. de la *Revue des sciences naturelles*.)

PERNOLET (A.) et L. AGUILLON. — Exploitation et réglementation des mines à grisou en Belgique, en Angleterre et en Allemagne. Rapport de mission fait à la commission chargée de l'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou dans les houillères; par MM. A. Pernolet et L. Aguillon. II. Angleterre. In-8°, XII-335 pages. (4929)

RÉOLLE (L.). — Étude sur les mammifères fossiles des dépôts pampéens de la Plata, d'après les collections du musée de Buenos-Ayres, présentée à l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon, le 20 juillet 1880; par Louis Réolle. Grand in-8°, 43 p. (Extr. des *Mémoires de l'Académie des sciences*, etc., de Lyon, volume 24°.) (2259)

ROLLAND (G.). — Mission transaharienne de Lagouat, El Goleah, Ouargla, Biskra. Géologie et hydrologie; par M. G. Rolland, ingénieur des mines. (Extr. des *Annales des mines*.) (1077)

SAPORTA. — Aperçu géologique du terroir d'Aix en Provence; Géognosie, Historique des travaux, détails stratigraphiques et paléontologiques; par le marquis de Saporta, correspondant de

l'Institut. In-16, 31 pages. Aix, imprimerie et librairie Makaire. 1 fr. (5911)

Thomas (P.). — Notes sur quelques Équidés fossiles des environs de Constantine; par Ph. Thomas, vétérinaire en premier au 10e hussards. In-8°, 18 pages. (Extr. de la *Revue des sciences naturelles.*) (680)

4° *Mécanique. — Exploitation des mines.*

Aguillon (L.). — Note sur les associations et les sociétés de surveillance d'appareils à vapeur en France; par M. L. Aguillon, ingénieur des mines, suivie du décret portant règlement sur les générateurs à vapeur (rapport, décret, circulaire). In-8°, 48 pages. (Extr. des *Annales des mines.*) (716)

Barbe (F.). — Emploi simultané dans les mines et tunnels de la perforation mécanique et des dynamites Nobel; l'air comprimé, le compresseur d'air et la perforatrice; par F. Barbe, ancien officier d'artillerie. In-8°, 39 p. et 1 pl. (5169)

Bouchy (J. C.). — Nouveau Traité théorique de filetage, suivi de la théorie des cônes qui se font à l'aide de l'excentrage des poupées, des tours et des poulies; par Jean-Charles Bouchy. In-18, 35 pages. (6002)

Brassine (E.). — Axes centrifuges; Détermination des axes d'un corps solide sur lesquels les forces centrifuges exercent, pendant la rotation, un effet maximum; par M. E. Brassinne. In-8°, 4 pages. (Extr. des Mémoires de l'Académie des sciences, inscriptions et belles-lettres de Toulouse. (523)

Coret (T.). — La Nouvelle Législation des machines à vapeur. Décret du 30 avril 1880, loi du 21 juillet 1856 sur les contraventions, précédés d'un commentaire; par T. Coret, garde-mines, attaché au contrôle des chemins de fer du Nord. In-16, VII-104 p. (1965)

Delafond (F.). — Rapport sur les explosions survenues dans les houillères de Saône-et-Loire, sur leurs causes et les moyens de les éviter à l'avenir; 59 p. et 8 plans. (4777)

Hirsch (J.). — Notice sur les élévateurs et plans inclinés pour canaux; par M. J Hirsh, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, XVI 107 p. et atlas in-plano de 7 pl. (4604)

Lévy (J.). — Les Machines, instruments et procédés usités dans divers travaux à l'Exposition universelle de 1878 à Paris; par M. Joseph Lévy, ingénieur civil des mines. (796)

Schmidt (E.). — Législation des appareils à vapeur. Décret du 30 avril 1880 et circulaire ministérielle du 21 juillet 1880, suivis

de notes raisonnées; par M. E. Schmidt, ingénieur. In-8°, 49 p. (2164)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

Accident (l') du 15 août 1879 sur la ligne de Flers à Granville et collisions sur les chemins de fer. In-12 p. (2869)

Bachrigh. — Sécurité publique sur les chemins de fer. 1. Block-système avec le concours du personnel de la voie; 2. Block-système automatique; 3. Block-système par l'espacement des trains, etc.; par M. Joseph Bachrich, inventeur. In-8°, 24 p. (1928)

Barrère (J.). — Ponts en maçonnerie; Tracé graphique de la courbe des voûtes, application de la méthode à l'épure de stabilité d'un pont de 45 mètres d'ouverture, établi au passage du chemin de fer d'Elne à Arles-sur-Tech, sur la rivière du Tech, à Céret (Pyrénées-Orientales); par J. Barrère, conducteur des ponts et chaussées. In-8°, 16 p. et planche. (5369)

Barthaud. — Note sur une mire parlante à pied et à divisions millimétriques; par Barthaud, conducteur faisant fonctions d'ingénieur ordinaire des ponts et chaussées à Sarlat (Dordogne). In-8°, 15 p. et tableau. (2209)

Blavier. — La Question du rachat des chemins de fer de l'État; par M. Blavier, président. In-18, 21 p. (Publié par la Société industrielle et agricole d'Angers et de Maine-et-Loire.) (519)

Bourassé (J. J.). — Les Belles Cathédrales de France; par J.-J. Bourassé, président de la Société archéologique de Touraine. Grand in-8, 350 p. et grav. (6003)

Cavaignac (G.). — La Commission des chemins de fer en Angleterre, deuxième article; par M. G. Cavaignac, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 32 p. (Extr. des *Annales des ponts et chaussées*, août 1880.) (1141)

Choron (L.). — Étude sur le régime général des chemins de fer; par L. Choron, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 139 p. (Extr. des *Annales des mines*, livr. de nov.-déc. 1880.) (4759)

Coene (de). — Étude sur le port d'Anvers, gares du chemin de fer, travaux hydrauliques, manutention des marchandises; par M. de Coene, ingénieur. Gr. in-8°, 71 p. et 5 planches. (Extr. du *Bulletin de la Société industrielle de Rouen*, année 1880.) (46)

Comoy. — Étude pratique sur les marées fluviales et notamment sur le mascaret; Application aux travaux de la partie maritime des fleuves par M. Comoy, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite. Texte. In-8°, 393 p. avec 39 fig. et atlas de 10 planches. (2630)

Curières de Castelnau (de). — Note sur les signaux électriques désignés sous le nom de cloches autrichiennes; par M. de Curières de Castelnau, ingénieur des mines. In-8°, 24 p. (Extr. des *Annales des mines*, livr. de nov.-déc. 1880. (5688)

Demimuid (R.) et C. Herscher. — Note sur des procédés récents de chauffage et de ventilation observés en Autriche, avec description particulière du système établi au théâtre de l'Opéra de Vienne; par MM. René Demimuid, architecte, et Charles Herscher, ingénieur. In-8°, 15 p. et pl. en couleur. (1981)

Gobin (A.). — Sur les appareils à enclenchements installés aux gares de Perrache et de la Guillotière à Lyon; note par M. A. Gobin, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 19 p. (4206)

Goschler (C.). — Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer; par Ch. Goschler, ancien ingénieur principal aux chemins de l'Est. T. 5. Service de la locomotion. Troisième section : Dépôts, ateliers et direction du service. 2e *édition*, considérablement augmentée. In-8°, 664 p. et 4 pl. (5041)

Héraud (G.). — Recherches hydrographiques sur le régime des côtes. Dixième cahier : Rapport sur la reconnaissance de la baie de Somme et de ses abords en 1878; par M. G. Héraud, ingénieur-hydrographe de la marine. In-4°, VIII-77 p. et 13 pl. (2700)

Hersent (A.). — Note sur la cloche à dérochement, construite pour le dérasement de la roche la Rose dans le port de Brest; par H. Hersent. In-8°, 14 p. (Extr. des *Mémoires de la Société des ingénieurs civils.*) (2044)

Heurteau (E.). — Rapport sur les divers systèmes de signaux en usage et l'application des appareils d'enclenchement pour la protection des bifurcations; par M. E. Heurteau, ingénieur des mines. In-8°. (Extr. des *Annales des mines.*) (1020)

Leroy (A.). — Cours pratique de chemins de fer; par A. Leroy, chef de bureau de la traction des chemins de Paris à Lyon et à la Méditerranée, In-18 jésus, 478 p., avec 128 fig. et 3 pl. (4060)

—— Manuel des lois du bâtiment. 2e *édition*, revue et augmentée. 2e volume, 2e partie. In-8°, p. 1035 à 1516. (28 mai.) (6144)

Mathieu (A.). — Projet de canaux maritimes et d'eau douce à travers l'Europe. Texte et plans; par Alc. Mathieu, associé-fondateur des mines de Douchy et Courrières. In-4°, 20 p. et 12 pl. (1492)

Neufville (J. de). — Notes sur le tunnel du Simplon présentées à la Société de géographie commerciale de Paris; par Jacob de Neufville, de la Société de géographie de Paris. In-8°, 10 p. et carte. (2321)

NIEPCE (L.). — Monographie de la cathédrale de Lyon, par Lucien Bégule; compte rendu et étude, par Léopold Niepce. In-4°, 43 p. avec 18. Lyon, imp. Mongin-Rusand. (5847)

PARANDIER (A. N.). — Topographie stratigraphique et géognostique applicable aux points fortifiés et passages défensifs à travers les zones frontières soumises aux servitudes militaires; par A. N. Parandier, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite. In-8°, 16 p. et 2 cartes. 3 fr. (400)

PASQUEAU (A.). — Note sur les glaces de la Saône en 1879-1880; par M. A. Pasqueau, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 31 p. (Extr. des *Annales des ponts et chaussées*, nov. 1880.) (1252)

PICARD (A.). — Alimentation du canal de la Marne au Rhin et du canal de l'Est; par Alfred Picard, ingénieur en chef des ponts et chaussées. (Travaux exécutés depuis 1870 pour l'alimentation spéciale à la première.) Ouvrage accompagné d'un atlas de 25 planches. In-8°, VIII-544 p. Texte et atlas. 60 fr. (1536)

RAYET (O.). — Monumeuts de l'art antique publiés sous la direction de M. Olivier Rayet, professeur suppléant au Collège de France, directeur-adjoint à l'École des hautes études. Livraison II. In-folio, 72 p. 15 planches en héliogravure. (6194)

REY (L.). — Note sur une nouvelle disposition des appareils de choc et de traction dans le matériel roulant des chemins de fer destinée à faciliter le passage des trains dans les courbes et à assurer le contact permanent des tampons (système Chevalier et Rey): par L. M. Rey. In-8°, 12 p. et pl. (4656)

RIVOIRE (C.) et A. TRUCHELUT. — Coutumes et usages des étangs de la Dombes et de la Bresse; par M. Ch. Rivoire et autres auteurs. Réunis, mis en ordre, annotés et suivis de la Bibliographie des étangs et d'un tableau des mesures locales, par A. Truchelut, expert-géomètre. In-8, 172 p. (2361)

ROUSSEAU (A.). — Série des prix applicables à la pose des parquets; par Auguste Rousseau, vérificateur des travaux de la ville de Paris. Établie suivant la décision de la cinquième sous-commission de révision de la série officielle de 1880, etc. 2e *édition* (1881), ayant pour base la journée à 8 francs. In-4, 20 p. (26 fév.). (2818)

SERVAN (P. G. A.). — Notice sur le projet de canal maritime de l'Océan à la Méditerranée; par M. P. G. A. Servan, lieutenant de vaisseau. In-8°, 19 p. (Extr. de la *Revue maritime et coloniale*.)

VICAIRE (E.). — Compte rendu des expériences entreprises au chemin du Nord pour l'essai comparatif du frein à embrayage électrique de M. Achard et du frein pneumatique de M. Smith; par M. E. Vicaire, ingénieur des mines, attaché au contrôle des

chemins de fer du Nord. In-8°, 96 p. (Extr. des *Annales des mines.*) (5943)

6° *Sujets divers.*

ANDRÉ (C.). — Recherches sur le climat du Lyonnais; par M. Ch, André, directeur de l'Observatoire, secrétaire de la commission de météorologie. Gr. in-8°, 50 p. et 5 planches. (1910)

BARREAU-PINCHON. — Épuration des eaux, procédé sûr et économique à l'usage des diverses industries; par M. Barreau-Pinchon. In-8, 23 p. et planche. (2207)

BAURAC (J.). — Le Phylloxéra reconnu comme étant l'effet et non la cause de la maladie de la vigne; Moyen infaillible pour combattre et pour empêcher le retour de ce fléau, suivi d'un Aperçu sur la maladie des vers à soie, et d'une courte notice sur la maladie de la pomme de terre; par M. Joseph Baurac, propriétaire, au château de Bouchillon, canton de Montagrier (Dordogne). In-8°, 40 p. 2 fr. (2883)

BIMÉTALLISME (le), ou Trois barbarismes en un seul mot, savoir : un néologisme inutile et spécieux, une définition trompeuse de la monnaie, une absurdité métrologique. Lettres à M. Joseph Garnier. In-8°, 32 p. (4348)

BOUCARD. — Dommages causés par la gelée pendant l'hiver 1879-80 aux pineraies de la Sologne. Extrait d'un rapport de M. Boucard, conservateur des forêts à Tours, communiqué par l'administration des forêts. In-8°, 47 p. et planche. (1936)

BOUTIN. — Étude sur les causes qui rendent le phylloxéra indestructible par les insecticides; par Boutin aîné. In-8°, 14 p. (522)

BOYER (H. C. de). — Rapport sur les inconvénients et les dangers du chauffage mobile; par le docteur Henry C. de Boyer, ancien interne des hôpitaux. In-8°, 7 p. (1940)

BULLETIN de la Société scientifique industrielle de Marseille. T. 8. (Année 1880.) In-8°, p. 71. (3694)

CAMBON (V.). — Résultats d'expériences de culture au moyen des engrais chimiques; par V. Cambon, ingénieur des arts et manufactures. In-8°, 24 p. et planches. (4365)

CATALOGUE de planches gravées composant le fonds de la chalcographie du musée national du Louvre et dont les épreuves se vendent au musée. In-8°, XXII-427 p. (3413)

CERNUSCHI (H.). — Le Bimétallisme à quinze et demi nécessaire pour le Continent, pour les États-Unis, pour l'Angleterre; par Henri Cernuschi. In-8°, 66 p. (2623)

DÉPLOIEMENT stratégique probable des forces allemandes sur la

frontière française. In-8, 42 p. et 2 cartes. (Extr. du *Journal des sciences militaires*, janvier-février 1880.) (2645)

Doussot et Labry. — L'Outillage national de la dette de l'État; par MM. Doussot et Labry. (Extr. des *Annales des ponts et chaussées*.) (980)

Duponchel (A.). — Lettre à M. le président et à MM. les membres de la commission supérieure du Trans-Saharien; par A. Duponchel, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 35 p. (4192)

Durand-Claye (A.). — Les Travaux d'assainissement de Dantzig, Berlin, Breslau; par M. A. Durand-Claye, ingénieur des ponts et chaussées de la ville de Paris. In-8°, 51 p. (Extr. de la *Revue d'hygiène*, janvier et février 1881.) (4019)

Dutuit (E.). — Manuel de l'amateur d'estampes; par M. Eugène Dutuit. T. 4. Ouvrage contenant un aperçu sur les plus anciennes gravures, sur les estampes en manière criblée, sur les livres xylographiques, sur les estampes coloriées, etc., et enrichi en fac-similés des estampes les plus rares reproduites par l'héliogravure. Écoles flamande et hollandaise. T. 1. In-8°, XII-522 p. et 9 grav. (2010)

Faure-Beaulieu (L.). — Vidange et engrais, assainissement et fertilisation; par M. Léon Faure-Beaulieu, ingénieur des arts et manufactures. In-8°, 48 p. avec fig. (2668)

Favier (P. A.). — Nouvelle industrie de la ramie; Notice sur la découverte de procédés mécaniques et chimiques pour la préparation et l'utilisation des fibres de la ramie, plante textile produisant une fibre plus forte que le lin et le chanvre, plus fine que le coton et la laine et aussi brillante que la soie; suivie d'un résumé de renseignements utiles aux industriels en textiles de toute nature et d'une notice sur la culture en France de cette plante, etc. In-18 jésus, 64 p. (4042)

Figuier (L.). — L'Année scientifique et industrielle, accompagnée d'une nécrologie scientifique; par Louis Figuier. 24e année (1880). Paris, imp. Lahure; lib. Hachette et Ce. 3f,50. (Bibliothèque variée.) (2472)

Flammarion (C.). — Voyages aériens; par Camille Flammarion. Impressions et études, journal de bord de douze voyages scientifiques en ballon, avec plans topographiques. In-18 jésus, 388 p. (4403)

Foex (G.). — Manuel pratique de viticulture pour la reconstitution des vignobles méridionaux; Vignes américaines; Submersion; plantation dans les sables; par Gustave Foëz, professeur à l'École nationale d'agriculture de Montpellier. In-18 jésus, VIII-275 p. avec 32 fig. (4815)

GAZEAU DE VAUTIBAULT. — Le Transsaharien et le Transcontinental africain; par Gazeau de Vautibault, promoteur du Transsaharien et du Transcontinental africain. Gr. in-8°, 48 p. (2686)

GOUPIL. — Traité méthodique et raisonné de la peinture à l'huile, contenant les principes du coloris ou mélanges des couleurs, appliqués à tous les genres : paysages, fleurs, fruits, animaux, figures, etc., d'après les règles des grands maîtres et la connaissance parfaite des effets chimiques sur les matières colorantes; suivi de l'Art de la restauration et conservation des tableaux. In-8°, 64 p. (4412)

GOUPIL. — Traité général des peintures à l'eau ou lavis, à l'encre de Chine pour l'architecture, en couleur pour les cartes et plans topographiques, à la gouache, à la sépia, l'aquarelle, la détrempe, la fresque et la miniature dans toutes les applications industrielles, etc. In-8°, 48 p. (4411)

KOECHLIN-SCHWARTZ. — Les Fils et Tissus de laine peignée à l'Exposition universelle internationale de 1878 à Paris; par M. Kœchlin-Schwartz, manufacturier. In-8°, 39 p. (5015)

LACROIX (E.). — Dictionnaire industriel à l'usage de tout le monde : Arts et métiers, mines, agriculture, etc., description de cent mille secrets et procédés de l'industrie moderne, avec la traduction anglaise et allemande des mots techniques et usuels; par M. E. Lacroix, ingénieur civil. 3e *édition*, augmentée d'un supplément. T. IV et dernier (second du supplément). G.-Z. In-18 jésus, p. 757 à 1469 et fig. 252 à 552. Chaque vol. 10 fr. (4856)

LALANNE (L.). — Questions relatives à l'établissement d'un pont sur le bas Danube et à la possession d'Arab-Tabia, par Léon Lalanne, de l'Institut, inspecteur général des ponts et chaussées (Extr. des *Annales des ponts et chaussées.*) (1050)

LECOUTEUX (É.). — Principes de culture améliorante; par Édouard Lecouteux, professeur d'économie rurale. 4e *édition*. In-18 jésus, 415 p. (2075)

LE PLAY (P. F.). — La Constitution essentielle de l'humanité, exposé des principes et des coutumes qui créent la prospérité ou la souffrance des nations; par Pierre-Frédéric Le Play, inspecteur général des mines. In-18 jésus, XVI-328 p. (5796)

LEROY-BEAULIEU (P.). — Essai sur la répartition des richesses et sur la tendance à une moindre inégalité des conditions; par Paul Leroy-Beaulieu. (1059)

LEWIS (T. R.). — Les Microphytes du sang et leurs relations avec les maladies; par Timothée-Richard Lewis. Traduction française

d'un mémoire publié en anglais dans le *Quaterly microscopical Journal*, 1880. (797)

Magnier de la Source (L.). — Chimie appliquée à l'hygiène et aux falsifications. Composition et analyse du vin; Recherche des altérations frauduleuses de ce liquide; par L. Magnier de la Source. In-8°, 70 p. (3529)

Malloizel (G.). — Bibliographie des travaux scientifiques et bibliographie biographique de Claude Bernard; par Godefroy Malloizel, sous-bibliothécaire au Muséum d'histoire naturelle. In-8°, 52 pages. (5067)

Miotat (E.). — Suppression complète de la vidange; Assainissement des égouts et des habitations; par Eugène Miotat, architecte-expert, conducteur du service municipal de l'assainissement. In-8°, 48 pages. (3557)

Mouillefert (P.). — Application du sulfocarbonate de potassium au traitement des vignes phylloxérées, au moyen du système mécanique breveté et des procédés de MM. P. Mouillefert et Félix Hembert. Rapport sur les travaux de l'année 1880 (7e année de la Société nationale contre le phylloxéra; par P. Mouillefert, professeur à l'École nationale d'agriculture de Grignon. In-4°, 112 pages. (3565)

Notes sur l'élevage et le fermage des autruches en Algérie et au Sénégal. In-8°, 52 pages. (4919)

Pellet (H.). — Les Pulpes de diffusion et les Pulpes de presses hydrauliques. Réponses aux articles de M. D.-Q. et de M. Chavée-Leroy, parus dans le *Journal de l'Aisne*, mai, juin, juillet, août, septembre et octobre 1880; par H. Pellet, chimiste de la compagnie de Fives-Lille. In-8°, 79 pages. (3077)

Thénot. — La Miniature mise à la portée de toutes les intelligences; par Thénot, peintre-professeur. *Nouvelle édition*, augmentée de notes et remarques professionnelles et pratiques; par F. Goupil, élève d'Horace Vernet. In-8°, 47 pages avec figures. (6226)

Viollet-le-Duc. — Histoire d'un dessinateur; Comment on apprend à dessiner; texte et dessins par Viollet-le-Duc. In-8° 306 p. avec frontispice en couleur et 109 figures. (5948)

Ysabeau (A.). — Cours d'agriculture pratique, publié par une société d'agronomes sous la direction d'A. Ysabeau, agriculteur, ancien professeur d'histoire naturelle. III. Animaux domestiques. 5e *édition*. In-18 jésus, IV-579 pages. (4684)

OUVRAGES BELGES.

FRANCKEN. Manuel de chimie générale théorique. Bruxelles. In-8°, T. I, V-124 p. 3f,75.

OUVRAGES ANGLAIS.

BALL. *Experimental mechanics.* Mécanique expérimentale. In-8°. 13f,15.

GALLOWAY. *The steam engine...* La machine à vapeur et ses inventeurs. In-8°, 276 p. 13f,15.

Natural history... Histoire naturelle de la Nouvelle-Zélande. In-8°, 170 p. 4f,40.

FRANKLAND. *Lecture notes...* Leçons à l'usage des élèves en chimie. T. II; chimie organique. 3e édit. In-8°, 310 p. 7f,50.

MICHELL. *Mine drainage...* Asséchement des mines. In-8°, 296 p. 18f,75.

Memoirs of the geological Survey... Mémoire explicatif pour accompagner la feuille 63 et la moitié septentrionale de la feuille 74 de la carte géologique de l'Irlande; districts du comté de Mayo. In-8°. 2f,50.

—— *Explanatory...* Mémoire explicatif pour accompagner la feuille 27 de la carte géologique de l'Irlande : districts des comtés de Londonderry, Tyrone et Antrim. In-8°. 1f,90.

TAYLOR. *An introduction...* Introduction à la géométrie ancienne et moderne des coniques. In-8°, 488 p. 18f,75.

PERRY. *An elementary treatise...* Traité élémentaire de la vapeur. In-12, 410 p. 5f,65.

DUFFIELD. *The prospects...* Perspective et description du Pérou et de l'âge du guano, avec des notes sur les dépôts de guano et les plaines à nitrates. In-8°, 116 p. 3f,15.

CROFTON and KENSINGTON. *Tracts on mechanics.* Traité de mécanique. 2e édit. In-8°. 9f,40.

PEMBER. *Earth's earliest...* Les premiers âges de la terre. In-8°, 250 p. 7f50.

Parliamentary. — Railway commission... Commission des chemins de fer; 7e rapport. 0f,55.

—— *Railway continuous brakes...* Freins continus des chemins de fer : rapports. 1f,15.

Parliamentary. — *Boiler explosion...* Explosion de chaudière à Acrefair : rapport. 1f,10.

—— *Boilers...* Chaudières; rapport du comité et plans. 22f,52.

—— *Railways...* Chemins de fer, appareils d'enclenchement et signaux. 1f,25.

—— *Railways...* Chemins de fer, rapport annuel. 0f,85.

—— *Railways...* Chemins de fer. Accidents, comptes rendus et rapports. Second semestre 1880. 8f,75.

Boddy. *History...* Histoire du sel, avec observations sur sa distribution géographique, sa formation géologique, etc. In-8°, 95 p. 3f,15.

Shock. *Steam boilers...* Les chaudières à vapeur : dessin, construction et emploi. In-4°, 480 p. 92 fr.

Hastarn and Edwards. *Conic sections...* Traité géométrique des sections coniques. In-8°. 410 p. 6f,90.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

Baldwin. *Locomotive...* Catalogue des locomotives. Philadelphie. In-4°. 31f,25.

Sickels. *United States mining...* Législation des mines aux États-Unis. San Francisco. In-8°, 677 p. 45 fr.

Elderhorst. *Manual...* Manuel d'analyse qualitative au chalumeau et de détermination minéralogique. Nouvelle édition revue et corrigée par *H. B. Nason.* In-12, 371 p. 15f,65.

Hunt. *Coal and iron...* Le charbon et le fer dans l'Ohio méridional. Boston. In-8°, 152 p. avec une carte. 9f,40.

Price and Johnson. *Elementary treatise...* Traité élémentaire de calcul différentiel fondé sur la méthode des fluxions. Édition abrégée. New-York. In-12. 9f,40.

OUVRAGES SUISSES.

De Loriol. Description de quatre échinodermes nouveaux. Genève. In-4°, 15 p., avec 1 pl. 3 fr. (Extr. des *Mém. de la soc. paléontol. suisse*).

Major, C. J. Forsyth. *Beiträge...* Contributions à l'histoire des

chevaux fossiles, et particulièrement de ceux d'Italie. Zurich. In-4°, 153 p., avec 8 pl. 20 fr. (Extr. du même recueil.)

OUVRAGES ALLEMANDS.

F. Posepny. *Archiv...* Archives de géologie pratique. Vienne. T. I. In-8°, 637 p., 10 pl.

Cohen. *Sammlung...* Collection de photographies microscopiques montrant la structure des minéraux et des roches, exécutées par *J. Grimm*, à Offenburg. Stuttgart. 1re et 2e livraisons. In-4°, 16 pl. 40 fr.

Græfe. *Erweiterungen...* Extensions de l'hexagone de Pascal et des figures qui s'y rattachent. Wiesbaden. In-8°, IV-57 p. 2 fr.

Martini und Chemnitz. *Systematisches Conchylien-Cabinet...* Collection systématique de coquilles. Publié et complété par *H. C. Küster*, en collaboration avec Philippi, L. Pfeiffer, Dunker et E. Rœmer, continué après sa mort par *W. Kobelt* et *H. C. Weinkauff*. Nüremberg. In-4°. Livraisous 295-301 ; 200 p., 41 pl. Chaque livraison 11f,25.

Palæontographica. Beiträge... Contributions à l'histoire naturelle des temps primitifs. Publié par *W. Dunker* et *K. A. Zittel*. Cassel. In-4°. T. XXVII (3e série, t. III), livr. 2 à 6, p. 81-203, avec 46 pl. 131f,25. — Suppl. III, livr. 8 et 9. 50 fr.

Peschka. *Normalenflächen...* Surfaces normales le long de la section d'une surface par un plan. Vienne. In-8°, 52 p., 4 pl. 3f,15. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

Scheibner. *Supplement...* Supplément au mémoire sur la réduction des intégrales elliptiques en formes réelles. Leipzig. In-8°, XLII p. 1f,90. (Extr. des *Abhandl. d. k. sächs. Gesell. d. Wissenschaften.*)

Schott. *Beiträge...* Contributions à la connaissance des combinaisons inorganiques. Brunswick. In-8°, VII-122 p., avec figures dans le texte. 5 fr.

Weyrauch. *Theorie...* Théorie de la poussée des terres fondée sur les aperçus les plus nouveaux. Vienne. In-8°, 52 p. 1f,50. (Extr. de l'*Allgemeine Bauzeitung.*)

Woldrich. *Diluviale Fauna...* Faune diluvienne de Zuzlawitz près Winterberg dans le Böhmerwald. Vienne. In-8°, 60 p., 4 pl. 2f,50. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

ZITTEL. *Handbuch der Paläontologie*... Manuel de paléontologie, publié avec le concours de *W. P. Schimper*. Munich. In-8°. T. II, 2e livr., p. 153-232. 3f,75.

MEISSNER. *Die Hydraulik*... L'hydraulique et les moteurs hydrauliques. Iéna. In-8°. T. II. Turbines et roues hydrauliques. 9e et 10e fasc., p. 457-552, avec 13 pl. Chaque fasc. 3f,75.

PÜTSCH. *Ueber Gasfeuerungen*... Sur les systèmes de chauffage aux gaz. Berlin. In-4°, 28 p. avec 2 pl. 3f,15.

SCHNABEL. *Die Entsilberung*... La désargentation du plomb d'œuvre par le zinc et les derniers progrès de cette méthode dans les usines fiscales de l'Oberharz. Berlin. In-4°, 45 p. 5 fr. (Extr. de la *Zeitsch. f. d. Berg., Hütten und Salinenwesen.)*

GRUNER. *Opfersteine*... Pierres de sacrifice de l'Allemagne : étude géologique-ethnographique. Leipzig. In-8°, 63 p. et 4 pl. 3 fr.

GÜNTHER. *Die Lehre*... Étude des fonctions hyperboliques ordinaires et généralisées. Halle. In-8°, x-440 p. 15 fr.

HAHN. *Die Meteorite*... Les météorites et leurs organismes. Tubingen. In-4°, v-56 p., avec 32 pl. 50 fr.

HELMERT. *Die mathematischen*... Théories mathématiques et physiques de géodésie supérieure. Leipzig. In-8°. Introduction et et 1re partie. : Théories mathématiques, XIV-631 p. 22f,50.

SPITZER. *Neue Studien*... Nouvelles études sur l'intégration des équations différentielles linéaires. Vienne. In-8°. 1er supplément. IV-96 p. 5 fr.

V. FESTENBERG-PACKISCH. *Der metallische Bergbau*... L'exploitation des mines métalliques de la basse Silésie. Vienne. In-8°, III-117 p., avec une carte. 7f,50.

Handbuch... Manuel des connaissances de l'ingénieur, en 4 vol. Leipzig. In-8°. T. I, 2e moitié, 2e livraison, et t. II, 2e partie, 1re livraison : p. 881-1099, avec 15 pl.; 304 p. avec 26 pl. 37f,50.

HEINZERLING. *Die Brücken*... Les ponts actuels. Aix-la-Chapelle. In-folio. 1re partie, 5e fasc. IV-53 p., avec 7 pl. 17f,70.

V. KERPELY. *Die Anlage*... Établissement et conduite des usines à à fer. Leipzig. In-8°. 4e livraison, p. 417-528, avec 16 pl. 20 fr.

UHLAND. *Handbuch*... Manuel du conducteur de machines. Leipzig. In-4°. Livraisons 12-16. Chaque livraison, 3f,75.

ZETSCHE. *Handbuch*... Manuel de télégraphie électrique. Berlin. In-8°. T. III, 1re livraison, p. 1-176. 6f,25. T. IV, 4e livraison, p. 513-656. 5f,25.

HEUMANN. *Anleitung*... Guide pour les manipulations de chimie inorganique. Brunswick. In-8°. Livraisons 3 et 4; p. XI-XXXIV et 321-668. 11f,50.

Kolbe. *Kurzes Lehrbuch*... Petit traité de chimie organique. Brunswick. In-8°, 2e fasc., p. 273-512. 3f,75.

Kreusler. *Lehrbuch*... Traité de chimie, avec un abrégé de minéralogie. Berlin. In-8°, xvi-779 p., avec 53 fig. et 17 pl. 10 fr.

Sartorius v. Waltershausen. *Der Œtna*... L'Etna. Publié et complété par *A. v. Lasaulx*, d'après les manuscrits du défunt. Leipzig. In-4°. T. II, viii-548 p., avec 1 carte et 22 pl. 75 fr.

Schaper. *Untersuchungen*... Recherches sur la répartition équipotentielle du fluide magnétique dans les barres d'acier. Leipzig. In-8°, 36 p. avec 1 pl. 1f,50.

Schilling. *Die Minimalflächen*... Les surfaces minimales de 5e classe. Gœttingue. In-8°, 54 p. 2f,50.

Toula. *Geologische Untersuchungen*... Études géologiques dans la partie orientales des Balkans et les régions limitrophes. Vienne. In-8°, 79 p., avec 6 pl. 4 fr. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften*.)

Gröger. *Die Statik*... La statique des voûtes de tunnels dans les terrains à forte pression. Prague. In-8°, 100 p., avec 7 pl. 5 fr.

Ledebur. *Leitfaden*... Guide pour les laboratoires des usines à fer. Brunswick. In-8°, vi-80 p. 2f,50. (Extr. de *Die chemisch-technische Analyse*.)

Benecke und Cohen. *Geognostische Beschreibung*... Description géologique de Heidelberg. Strasbourg. In-8°, 2e et 3e fasc., p. 189-622. 10 fr.

Heer. *Flora fossilis arctica*... Flore fossile des régions polaires. Zurich. In-4°. T. VI, 1re partie, IV, 34, 17 et 38 p., avec 21 pl. 25 fr.

Hœrnes und Auinger. *Die Gasteropoden*... Les gastéropodes des couches marines des 1er et 2e étages méditerranéens miocènes de la monarchie austro-hongroise. Vienne. In-fol. 2e fasc. p. 53-112, avec 6 pl. 20 fr. (Extr. des *Abhandl. d. k. k. geol. Reichanstalt*).

Levy. *Ueber die Ausdehnung*... Sur la dilatation du mercure. Berlin. In-8°, 27 p. 1f,25.

Reinsch. *Neue Untersuchungen*... Nouvelles recherches sur la structure microscopique des houilles du terrain houiller, du dyas et du trias. Leipzig. In-4°, viii-124 p., avec 94 pl. 62f,50.

Romeis. *Die Strahlung*... La radiation et la température du soleil. Cologne. In-8°, 68 p. 2 fr. (Extr. de *Gæa*.)

Verbeck. *Geologische Notizen*... Notices géologiques sur les îles de l'archipel indien néerlandais en général et sur les couches

fossilifères de Sumatra en particulier. Cassel. In-8°, 39 p. avec 1 pl. 1f,50. (Extr. des *Palæontographica*.)

VETTER. *Die Fische*... Les poissons des schistes lithographiques au musée de Dresde. Cassel. In-4°, VIII-119 p., avec 3 pl. 22f,50. (Extr. des *Mittheil. aus d. k. mineral. geol. u. prähistor. Mus. in Dresden*.)

VOLKMANN. *Ueber den Einfluss*... De l'influence de la courbure de la paroi sur les constantes de la capillarité dans les liquides mouillants. Leipzig. In-8°, 40 p. 1f,25.

REISER. *Das Härten*... La trempe de l'acier en théorie et en pratique. Leipzig. In-8°, VIII-136 p. 4f,50.

BARFOED. *Lehrbuch der organischen*... Traité d'analyse organique qualitative. Copenhague. In-8°. 2e livr., p. 193-384. 4f,40. — 3e livr., p. 385-522. 3f,75.

BEILSTEIN. *Handbuch*... Manuel de chimie organique. Leipzig. In-8°, livr. 2 et 3, 161-480. Chaque livraison : 3f,75.

HABENICHT. *Die Grundzüge*... Les traits fondamentaux de la constitution géologique de l'Europe. Gotha. In-8°, 18 p. avec une carte coloriée. 2f,70.

Neues Handwörterbuch der Chemie... Nouveau dictionnaire de chimie, composé et rédigé par *H. Fehling*, avec le concours Baumann, Bunsen, Classen, etc. Brunswick. In-8°, 36e livr. (T. III, p. 865-960). 3 fr.

HANIEL. *Die Flötzlagerung*... La disposition des couches dans le district de Stoppenberg et de Horst-Herten, dans la formation houillère de Westphalie. Essen. In-4°, 59 p., avec 5 cartes. 37f,50.

HEGER. *Die Konstruktion*... Construction d'une surface de 2e ordre passant par neuf points donnés. Leipzig. In-4°, 36 p. avec 1 pl. 2 fr.

HELMLING. *Ueber die Integration*... De l'intégration de l'équation générale de Riccati $\frac{dy}{dx} + y^2 = X$ et des équations différentielles qui s'y rattachent. Dorpat. In-4°, V-43 p. 2 fr.

DÜRRE. *Die Anlage*... Établissement et exploitation des usines à fer. Leipzig. In-4°. T. I, livr. 4 à 6, p. 73-144, avec 18 pl. Chaque livraison : 7f,50.

FUCHS. *Ueber Funktionen*... Sur des fonctions à deux variables obtenues par la conversion des intégrales de deux fonctions données. Gœttingue. In-4°, 39 p. 2f.50. (Extr. des *Abhandl. d. k. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen*.)

GERSTER. *Die Plänerbildungen*... L'étage du plœner autour d'Ortenburg près Passau. Halle. In-4°, 59 p., avec 1 pl. 5 fr. (Extr.

des *Nov. Act. d. k. Leop. Carol. deutsch. Ak. d. Naturforscher.*)

NEUMAYER und UHLIG. *Ueber Ammonitiden*... Sur les ammonitidés des couches de Hils dans le nord de l'Allemagne. Cassel. In-4°, IV-75 p., avec 43 pl. 125 fr. (Extr. des *Palæontographica.*)

RATHKE. *Ueber die Principien*... Sur les principes de la thermochimie et leur application. Halle. In-4°, 31 p. 2 fr. (Extr. des *Abhandl. d. naturforsch. Gesellsch. zu Halle.*)

REYER. *Eine geologische*... Une monographie géologique, minière et historique. Berlin. In-8°, IV-249 p. 5 fr.

SCHERRER. *Ueber*... Sur des formes ternaires biquadratiques. Frauenfeld. In-4°, 33 p. 2 fr.

UNVERZAGT. *Ueber die Grundlagen*... Sur les principes du calcul des quaternions. Wiesbaden. In-4°, 19 p. 1f,50.

WEINMEISTER. *Die Flächen*... Les surfaces du second degré. Leipzig. In-4°. 2e partie, 42 p., avec 2 pl. 1f,25.

JAROLIMEK. *Gesteins-Drehbohrmaschine*... Perforatrice à rotation avec mouvement hélicoïdal différentiel du fleuret. Vienne. In-8°, 40 p., avec 1 pl. 1f,25. (Ext. de l'*Œsterr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen.*)

v. REICHE. *Die Untersuchungen*... Recherches sur les chaudières et les machines à vapeur et sur diverses sortes de charbon des provinces rhénanes et westphaliennes, à l'exposition rhénane-westphalienne de Düsseldorf, en 1880. Aix-la-Chapelle. In-fol., III-28 p., avec 18 pl. 15 fr.

OUVRAGES ITALIENS.

BOMBICCI. *Nuovi studi*... Nouvelles études sur la polygénèse des minéraux. Bologne. In-fol. 1re partie, 42 p., avec 2 pl.

—— *Corso*... Cours de géologie et de physique terrestre appliqués aux matériaux de construction. Bologne. In-16, III-412 p. 4 fr.

CAVAZZI. *Determinazione*... Détermination de l'oxygène actif dans le bioxyde de baryum du commerce. Bologne. In-4°, 12 p. (Extr. des *Mem. dell' Accad. delle scienze dell' Istit. di Bologna.*)

DE STEFANI. *Res geologicæ*... Sur les opérations du comité géologique dans les Alpes apuennes. Sienne. In-4°, 10 p.

MARSANO. *Sull' eliminazione*... Sur l'élimination d'une inconnue entre deux équations d'un degré quelconque. Gênes. In-4°, 32 p. 2 fr.

CROCCHI. *Sopra la possibilità...* Sur la possibilité de la résolution numérique de deux équations simultanées. Florence. In-8°, 14 p.

LAWLEY. *Dente fossile...* Dent fossile de la molasse miocène du mont Titan (république de Saint-Marin). Pise. In-4°, 10 p. (Extr. des *Atti della soc. Tosc. di sc. naturali.*)

MASSA. Note sur les locomotives destinées au service de montagne sur la ligne du Saint-Gothard : lettre au Dr C. Stehlin. Turin. In-8°, 23 p.

SCOLA. *Memoria...* Mémoire sur la discussion de l'équation du 2e degré entre trois variables. Lecce. In-4°, 49 p.

Ferrovie d'accesso... Chemins de fer d'accès du Saint-Gothard. Actes et documents de la représentation provinciale de Milan adressés à M. le ministre des travaux publics. Milan. In-8°, 67 p.

GABBA. *Chimica analitica : trattato...* Chimie analytique : traité d'analyse chimique générale et appliquée. 2e partie. Milan. In-8°, xv-558 p., avec 38 fig. 12 fr.

MOCENIGO. *Il moto...* Le mouvement et la conservation du mouvement par la chute des corps solides. Bassano. In-8°, 20 p.

RAGAZZONI. *La collina...* La colline de Castanedola au point de vue anthropologique, géologique et agronomique. Bressia. In-8°, 13 p.

STOPPANI e TARAMELI. *Relazione...* Rapport et projet de loi présentés à la Commission pour la carte géologique du royaume. Florence. Gr. in-8°, 80 p.

BOTTO. Les machines électriques modernes et leur application à l'éclairage électrique, à la télégraphie et à l'allumage des mines et des torpilles. Rome. In-8°, 69 p., avec 5 pl.

PANTANELLI. *Conchiglie...* Coquilles pliocènes de Pietraffita, dans la province de Sienne. Sienne, In-8°, 276 p.

PASETTI. *Studio...* Étude comparative sur les chemins de fer italiens. Saluzzo. In-4°, 15 p.

SCARABELLI GOMMI FLAMINI. *Descrizione...* Description de la carte géologique du versant septentrional de l'Apennin entre il Montone et la Foglia : monographie statistique administrative de la province de Forli : géologie. Forli. In-4°, p. 14 et 118.

CASTIGLIANO. Théorie de l'équilibre des systèmes élastiques et ses applications : texte et planches. Turin. In-4°, 480 p., avec 15 pl. 12 fr.

CAVALLI. *Superficie...* Surfaces de réduction des moments d'inertie des systèmes de forces parallèles dans l'espace. Livourne. In-8°, 17 p. (Extr. des *Annali dell' Istit. tecnico di Livorno* et du *Politecnico.*)

ISSEL. *Istruzioni...* Instructions pour faire les observations géologiques et paléontologiques. Rome. In-4°, 54 p.

SARTORIO. *Il colle...* La colline de San Colombano et ses fossiles : étude géologique et paléontologique. Pistoïa. Petit in-4°, fasc. 2, 18 p.

DE GREGORIO. *Uno sguardo..* Un coup d'œil sur la faune éocène de S. Giovanni Ilarione : liste énumérative et comparative des espèces. Palerme. In-4°.

Ministero... Ministère des travaux publics. Direction générale des chemins de fer. Rapport statistique sur la construction et sur l'exploitation des chemins de fer italiens pour l'année 1879. Rome. In-4°, 509 p., avec 1 pl.

ZOPPETTI. *Manuale...* Manuel de l'art des mines. Milan. In-24, 182 p. 2 fr.

BASSO. *Dimostrazione...* Démonstration d'une propriété géométrique des rayons réfractés extraordinaires dans les milieux biréfringents uniaxes. Turin. In-8°, 6 p. (Extr. des *Atti dell' Accad. della scienza di Torino.*)

—— *Fenomeni di polarizzazione...* Phénomènes de polarisation chromatique dans les agrégats de corps biréfringents. Turin. In-4°, 24 p. avec planche. (Extr. du même recueil.)

LANCETTA. *Sintesi...* Synthèse des observations faites à Modica et à Syracuse sur le phénomène de la chute des poussières météoriques de l'année 1876 au 16 avril 1880. Turin. In-8°, 4 p. (Extr. du *Progresso.*)

NICOLIS. *Note...* Notes sur les formations éocènes comprises entre la vallée de l'Adige, celle de l'Illasi et i Lessini. Vérone. In-16, 51 p.

AGAZZI. *Del servizio...* Du service d'intérêt local sur les grands réseaux de chemins de fer. Rome. In-16, 16 p. (Extr. du *Giorn. dei lavori pubblici delle strade ferrate.*)

BOTTI. *Sulle breccie...* Sur les brèches ossifères de la province de Terra d'Otranto. Lecce. In-16, 7 p.

CAVAZZI. *Azione...* Action du bioxyde d'azote sur une solution de permanganate de potasse. Bologne. In-4°, 11 p. (Extr. des *Mem. della R. Accad. delle scienze dell' Istit. di Bologna.*)

DONNINI. *Sull' energia...* Sur l'énergie interne et les propriétés fondamentales des gaz. Livourne. In-8°, 28 p. (Extr. des *Ann. d. R. Istit. tecn. e nautico di Livorno.*)

RIALTI. *Equazione...* Equation fondamentale pour la mesure du diamètre de la molécule dans les solides fusibles. Rocca San Casciano. In-16, 6 p.

RUFFINI. *Dell' uso...* De l'usage des coordonnées obliquangles dans la détermination de l'ellipsoïde d'inertie. Bologne. In-4°, 20 p. (Extr. des *Mem. d. R. Accad. d. scienze di Bologna.*)

SAPORETTI. *Ricerche...* Recherches sur l'humidité relative de l'air atmosphérique. Bologne. In-4°, 13 p. (Extr. du même recueil.)

Stabilimento dei prodotti... Établissement de produits chimiques sur le littoral des Maronti dans l'île d'Ischia. Extraction des produits salins de l'eau de la mer à l'aide de la chaleur volcanique du sol. Rome. Pet. in 4°, 96 p., avec planche coloriée.

FORTI. *Saggio...* Essai de nouvelles tables de fonctions hyperboliques. Pise. In-8°, 16 p.

SALMOIRAGHI. Description et usage du cercle logarithmique à une seule échelle appliqué aux calculs de tachéométrie. Milan. In-18°, X-10 p., avec 1 table.

TALOTTI. *Cenni...* Renseignements sur quelques études géologiques et minéralogiques faites dans la province de Trapani. Trapani. In-16, 54 p.

CAPELLINI. *Il macigno...* Le macigno de Porretta et les roches à globigérines de l'Apennin bolonais. Bologne. In-4°, 22 p. et 3 pl. (Extr. des *Mem. dell' Accad. delle scienze dell' Istit. di Bologna.*)

CATTANEO. *Avisatore...* Avertisseur électrique pour les chemins de fer par l'intermédiaire des rails et des trains; 2° corollaire du système primitif. Pavie. In-8°, 8 p., avec planche.

DE ZOLT. *Principii...* Principes de l'équivalence des polygones. Milan. In-16, 46 p. 1 fr.

Ministero di agricoltura... Ministère de l'agriculture, de l'industrie et du commerce. Direction de l'industrie et du commerce. Projet de convention internationale sur les transports des marchandises par chemins de fer, formulé à la conférence de Berne. Rome. In-8°, 207 p.

ORSONI. *Al comm. prof. Giov. Capellini...* A M. le comm. prof. Capellini, en réfutation des objets exposés dans sa lettre du 6 janvier et sur les formations gypso-sulfurifères du Bolonais. Bologne. In-32, 13 p.

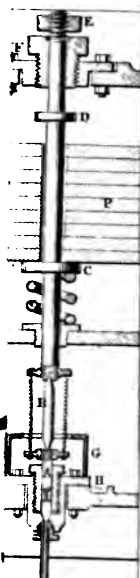
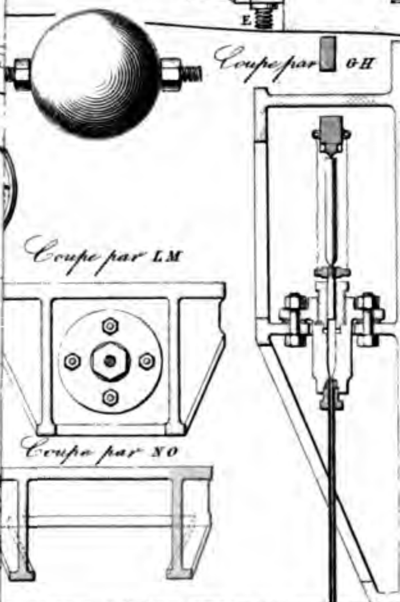






Fig. 6.

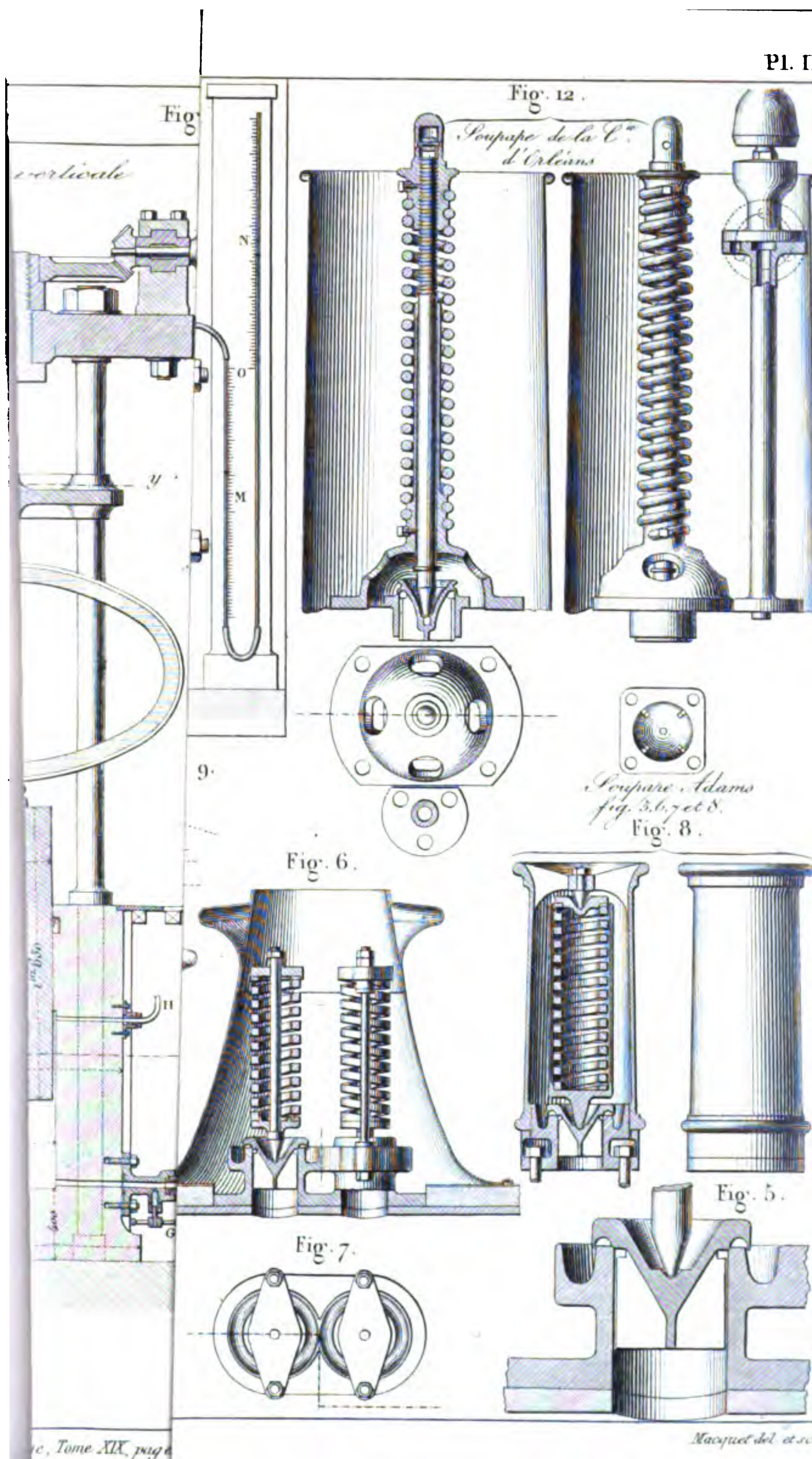




Macquet del. et sc.

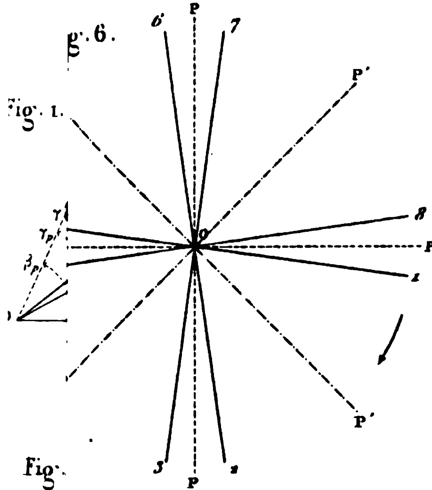


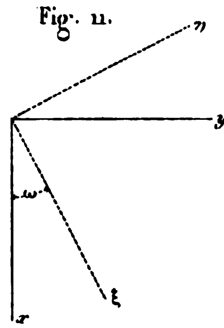
Pl. I

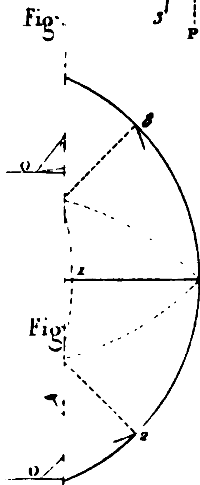


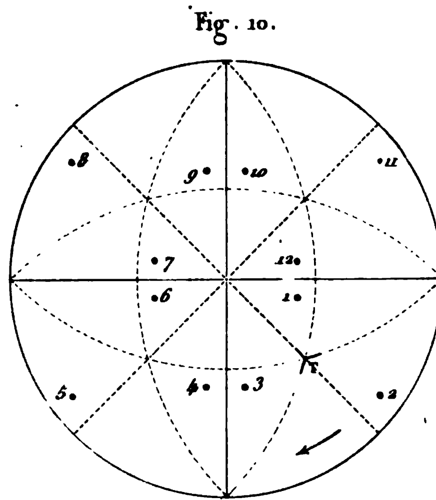
Macquet del. et sc.

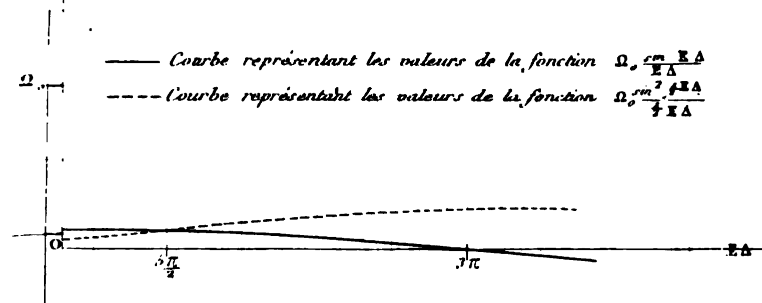
Min











Mauquet del et sc.

de la Société de Brüx.
Coupe suiv.t UV.

Dépilage de la mine de la C.ie du chemin de fer à Bodenbach.

Fig. 8. Coupe verticale suivant XY.

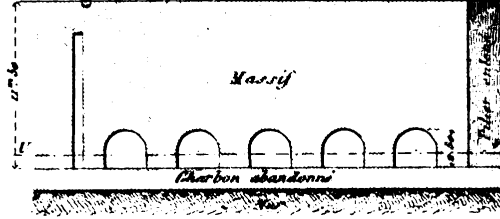
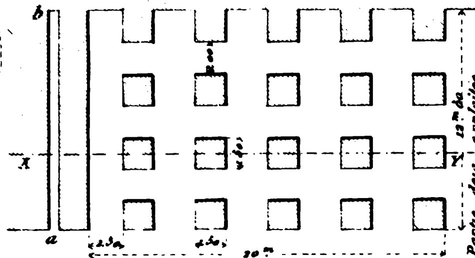


Fig. 7. Coupe horizontale suivant UV



1re section
Ligne de Thalweg de la couche
Puits N°.3
artier
3

Dépilage à la mine Britannia à Mariaschein (près Teplitz) 1re Période.

Fig. 13. Coupe verticale suiv.t XY

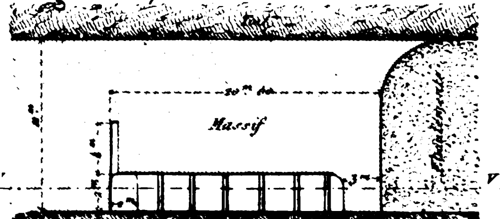
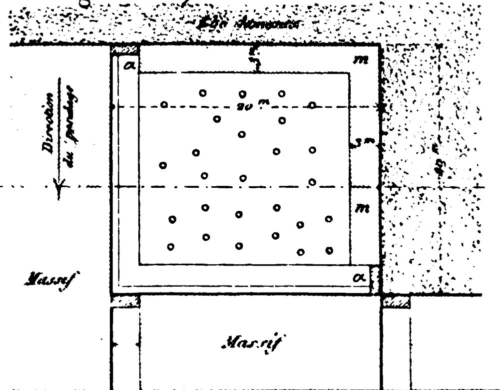


Fig. 12. Coupe horizontale suiv.t UV

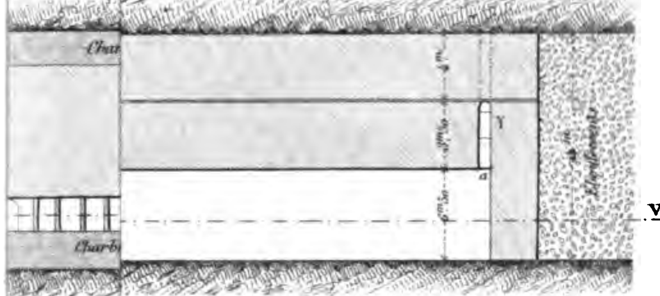


du dépilage.
ale
m
de.

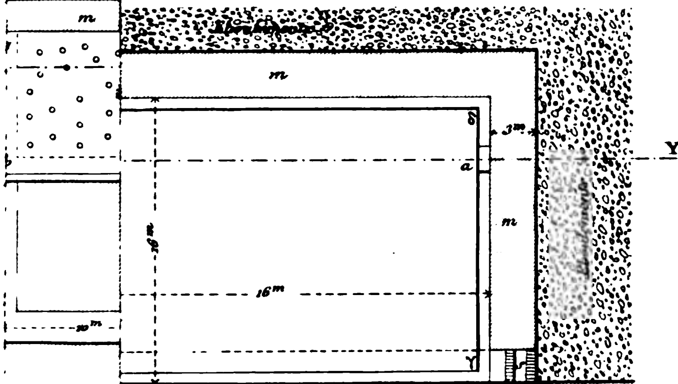
Macquet del et sc

la mine Nelson-Colliery (Dur.)

1re Période coupe verticale suivant X Y



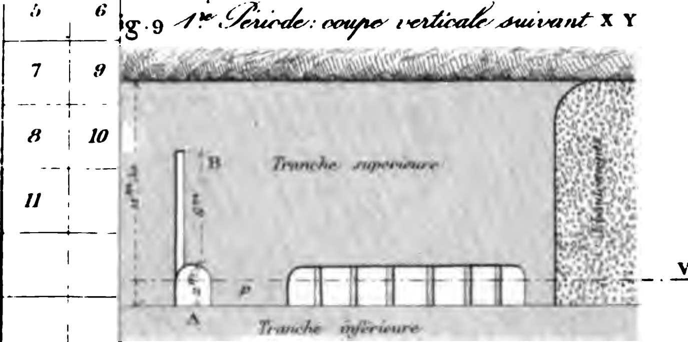
Coupe horizontale suivant U V



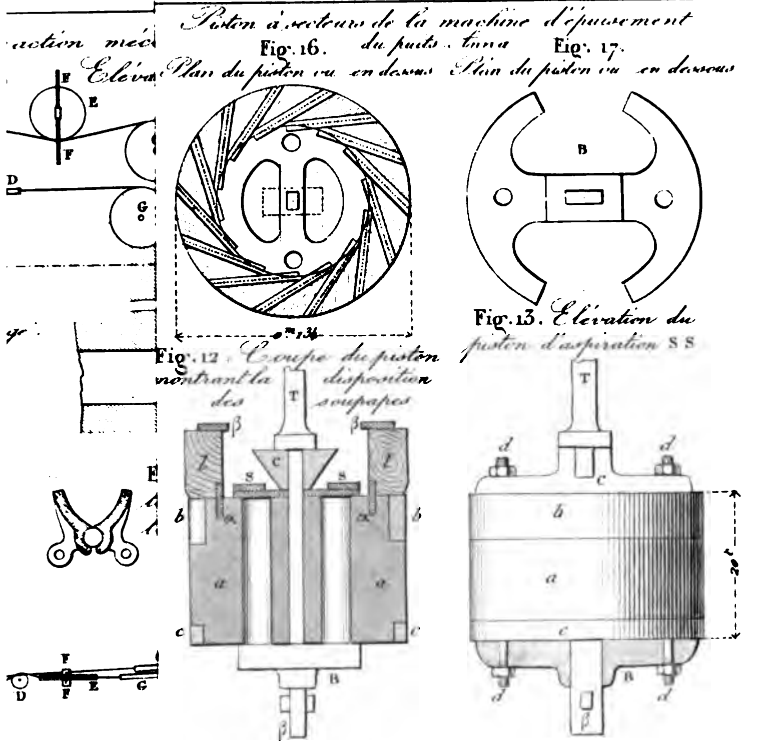
Marche

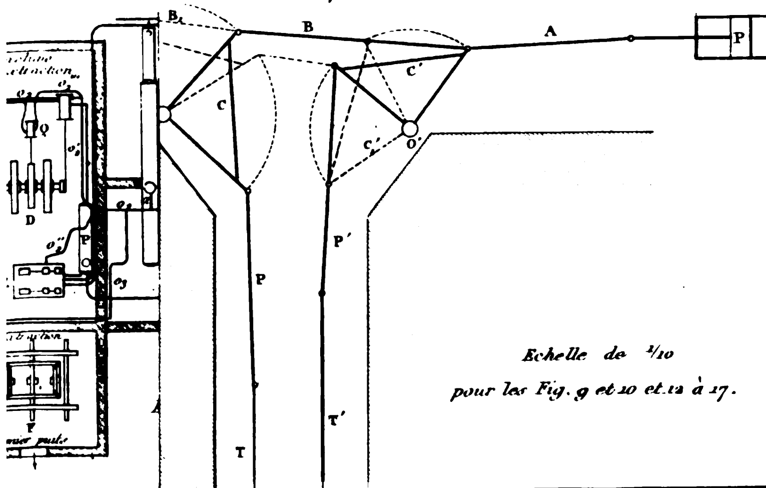
Dépilage à la mine de l'Union (Dur.)

g. 9 1re Période: coupe verticale suivant X Y



Macquet del et sc





Macquet del et sc.

